



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR  
PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESEL PALM OIL  
(B100) TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL SISTEM  
INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800**

**DIMAS PRIYANTO**  
**NRP 2114 105 013**

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR – TM141586**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR  
PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESEL PALM OIL  
(B100) TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL  
SISTEM INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800**

**DIMAS PRIYANTO  
NRP. 2114 105 013**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**



**FINAL PROJECT – TM141586**

**EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE EFFECT  
OF PREHEATING BIODIESEL PALM OIL (B100) ON  
THE PERFORMANCE OF DIESEL ENGINES DIRECT  
INJECTION SYSTEM DIAMOND TYPE Di800**

**DIMAS PRIYANTO**  
**NRP. 2114 105 013**

**Advisor**  
**Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.**

**DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**Faculty of Technology**  
**Institute of Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR  
PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESEL PALM OIL  
(B100) TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL  
SISTEM INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program S1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DIMAS PRIYANTO**  
NRP. 2114 105 013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. ..... (Pembimbing)  
NIP. 197301161997021001
2. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E. ..... (Penguji I)  
NIP. 195312191981031001
3. Ary Bachtiar K.P, ST., MT, Ph.D ..... (Penguji II)  
NIP. 197105241997021001
4. Bambang Arip D, ST., M.Eng., Ph.D. ..... (Penguji III)  
NIP. 197804012002121001

**SURABAYA  
JANUARI 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR  
PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESELPALM OIL (B100)  
TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL SISTEM  
INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800**

**Nama Mahasiswa** : Dimas Priyanto  
**NRP** : 2114105013  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI - ITS  
**Pembimbing** : Dr. Bambang Sudarmanta. ST., MT.

**ABSTRAK**

*Biodiesel sebagai bahan bakar renewable pengganti bahan bakar fosil memiliki properties berupa viskositas, densitas dan tegangan permukaan yang lebih tinggi dibandingkan solar. Karakteristik ini membuat proses atomisasi menjadi kurang baik yaitu berupa proses pemecahan butiran bahan bakar dan evaporasi yang lebih lambat. Proses pemanasan bahan bakar merupakan salah satu cara untuk menurunkan ketiga properties tersebut. Akan tetapi jika temperatur pemanasannya terlalu tinggi maka hal tersebut dapat membuat kemampuan pelumasan bahan bakar turun dan mempengaruhi jumlah massa bahan bakar yang mengalir. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pengujian untuk memperoleh temperatur pemanasan yang sesuai untuk biodiesel yang diaplikasikan pada mesin diesel injeksi langsung.*

*Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian pengaruh temperatur pemanasan terhadap nilai properties biodiesel berupa viskositas, densitas, dan tegangan permukaan serta karakteristik semprotan dari bahan bakar biodiesel B100. Selanjutnya dilakukan pengujian unjuk kerja mesin dengan penambahan sistem pemanas bahan bakar menggunakan elemen pemanas yang diatur oleh thermocontrol. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan bervariasi temperatur pemanasan biodiesel dari palm oil (B100) mulai dari suhu 27 °C (tanpa pemanasan), 40 °C, 55 °C, dan 70 °C. Alat pemanas biodiesel tersebut dipasang diantara filter bahan bakar dan pompa*

tekanan tinggi. Pengujian dilakukan pada mesin yang dioperasikan pada putaran konstan 2000 rpm dengan pembebanan bervariasi dari 500 watt sampai dengan 4000 watt dengan interval 500 watt. Parameter yang diukur adalah tegangan dan arus listrik, waktu konsumsi bahan bakar, serta suhu operasional yakni suhu mesin, air pendingin, oli mesin, dan gas buang.

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah perubahan temperatur biodiesel dapat memperbaiki karakteristik semprotan bahan bakar berupa panjang penetrasi semprotan yang semakin pendek dan sudut yang lebih besar. Hasil pengujian properties dengan variasi temperatur biodiesel 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C menunjukkan penurunan nilai viskositas, densitas, dan tegangan permukaan dari biodiesel tersebut. Kenaikan Temperatur biodiesel memberikan pengaruh terbesar pada perubahan nilai Sfc dan efisiensi termal mesin diesel sedangkan untuk nilai daya, torsi dan bmep pengaruhnya tidak signifikan. Dimana nilai Sfc mengalami penurunan sebesar 14,8% yang dicapai pada temperatur pemanasan 55 °C dengan pembebanan 87,5% dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan biodiesel standar 27 °C. Sedangkan nilai efisiensi thermal mengalami kenaikan sebesar 17,36% yang dicapai pada temperatur pemanasan 55 °C dengan pembebanan 87,5% dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan temperatur biodiesel standar 27 °C. Sehingga Temperatur bahan bakar yang ideal untuk mesin diesel diamond tipe Di800 1 silinder direct injection putaran konstan 2000 rpm yang menggunakan biodiesel adalah 55 °C.

**Kata kunci : Biodiesel, Pemanasan bahan bakar, karakteristik semprotan, properties biodiesel, unjuk kerja mesin.**

EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE EFFECT OF  
PREHEATING BIODIESEL PALM OIL (B100) ON THE  
PERFORMANCE OF DIESEL ENGINES DIRECT INJECTION  
SYSTEM DIAMOND TYPE Di800

**Name** : *Dimas Priyanto*  
**NRP** : *2114105013*  
**Major** : *Teknik Mesin FTI - ITS*  
**Academic Supervisor** : *Dr. Bambang Sudarmanta. ST., MT.*

**ABSTRACT**

*Biodiesel as renewable fuel substitute for fossil fuel has properties in the form of viscosity, surface tension and density higher than solar. These characteristics make the process atomisasi is becoming less good i.e. solving process fuel granules and a slower evaporating. The process of heating fuel is one way to lose a third of these properties. However, if the temperature of the heat too high then it can make fuel lubrication ability down and affect the amount of fuel mass flow. Based on this testing needs to be done to obtain the corresponding warming temperatures for biodiesel which applicated in direct injection diesel engine.*

*This study begins by performing the testing temperature warming influence of properties of biodiesel in the form of viscosity, surface tension and density, as well as the spray characteristics of B100 biodiesel fuel. Next do the testing engine performance with the addition of fuel heating system using heating elements regulated by thermocontrol. Testing was performed experimentally with the variation of temperature warming of palm oil biodiesel (B100) ranging from temperature 27 °C (without warming), 40 °C, 55°C, and 70 °C. The biodiesel heating devices are installed between the fuel filter and high pressure pumps. Testing is done on a machine that is operated on a constant round of 2000 rpm with a load varying from 500 watt up to 4000 watt with intervals of 500 Watts. The parameters to be measured are the voltage and electric current, time, fuel consumption and engine*

*temperatures i.e., operational temperature, water coolant, engine oil, and exhaust gas.*

*The results obtained from this research are a biodiesel can improve temperature change characteristics of fuel spray in the form of a spray penetration length the shorter and larger angles. The test results with the variation of temperature properties of biodiesel 27 °C, 40°C, 55°C, and 70 °C shows a decline in the value of viscosity, density, and surface tension of the biodiesel. The increase in the temperature of the biodiesel give greatest influence on changes in the value of the Sfc and the thermal efficiency of a diesel engine for torque and power values, bmep influence was insignificant. Where the value of the Sfc decreased by 14,8% achieved on the temperature of the warming 55 °C with the imposition of 87.5% and a constant round of 2000 rpm when compared to the standard biodiesel 27 °C. While the value of the effesiensi thermal rising of 17,36% accomplished warming in temperatures 55 °C with the imposition of 87.5% and a constant round of 2000 rpm when compared to the standard biodiesel 27 °C temperature. So that the temperature of an ideal fuel for diesel engine cylinder diamond Di800 type direct-injection round constant 2000 rpm using biodiesel is 55 °C.*

***Key words: Biodiesel, fuel, Warming the spray characteristics, properties of biodiesel, the performance of the machine.***



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan hidayah-Nya, tugas akhir yang berjudul “ ***STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN BAHAN BAKAR BIODIESELPALM OIL (B100) TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL SISTEM INJEKSI LANGSUNG DIAMOND TIPE Di800*** “ ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin ITS Surabaya, sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan. Selain itu Tugas Akhir ini juga merupakan suatu bukti yang diberikan almamater dan masyarakat.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama penyusunan Tugas Akhir ini sampai terselesaikannya laporan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan ketenangan dalam jiwaku.
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT sebagai Dosen Pembimbing yang telah dengan sangat sabar, tidak bosan-bosannya membantu dan memberikan ide serta ilmu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu, adik ku yang benar - benar memberikan semangat, cinta dan doa yang sangat berperan dalam menyelesaikan tugas Akhir ini.
4. Dosen tim penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan ilmunya dan membantu semua selama menimba ilmu di bangku kuliah.
6. Agi, Siti, Satrio, Rizal dan Seluruh keluarga laboratorium teknik pembakaran dan bahan bakar yang telah menyediakan tempat dan telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga segala keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Karena keterbatasan waktu dan kemampuan penulis, sebagai manusia biasa kami menyadari dalam penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kami mengharap kritik dan saran membangun sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, mahasiswa Mesin pada khususnya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar.....	7
2.1.1 Bahan Bakar Diesel.....	7
2.1.2 Biodiesel.....	11
2.2 Spesifikasi Biodiesel.....	13
2.3 Teori Pembakaran .....	14
2.4 Dasar teori mesin diesel .....	14
2.4.1 Siklus Kerja Motor Diesel Empat Langkah.....	14
2.4.2 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel.....	16
2.4.3 Governor pada Mesin Diesel.....	17
2.4.4 Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	19
2.5 Karakteristik Semprotan .....	22
2.6 Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar.....	23
2.7 Sistem Pemanas Biodiesel.....	25

2.8 Penelitian Terdahulu.....	26
-------------------------------	----

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Alat Uji.....	33
3.3 Alat Ukur.....	37
3.4 Pengujian Properties Bahan Bakar.....	39
3.5 Pengujian Karakteristik Semprotan.....	41
3.6 Perencanaan Penelitian.....	43
3.7 Pengujian Unjuk Kerja Mesin.....	43
3.7.1 Pengujian pada kondisi standar dengan bahan bakar solar.....	44
3.7.2 Pengujian dengan bahan bakar biodiesel.....	45
3.7.3 Pengujian dengan bahan bakar biodiesel dengan pemanas bahan bakar.....	45
3.8 Skema Peralatan Uji.....	46
3.8.1 Skema Alat Pemanas Bahan Bakar.....	47
3.9 Parameter Uji.....	48
3.10 Flowchart Penelitian.....	49
3.11 Flowchart Pengujian.....	50
3.2.2 Flowchart Pengujian Mesin Standar Bahan Bakar Solar.....	50
3.2.2 Flowchart Pengujian Mesin Bahan Bakar Biodiesel dengan pemanas bahan Bakar.....	51

### BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 karakteristik semprotan injektor berbahan bakar solar dan biodiesel dengan variasi temperatur.....	53
4.2 Analisa Properties Biodiesel Minyak Sawit... ..	55
4.1.2. Uji Massa Jenis dan Viskositas Kinematik Biodiesel dengan Variasi Temperatur.....	56

4.1.2. Uji Tegangan Permukaan Dengan Variasi Temperatur.....	57
4.3 Perhitungan Unjuk Kerja.....	58
4.4 Analisa Unjuk Kerja.....	61
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN 2 .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN 3.....</b>	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Persamaan reaksi untuk menghasilkan bahan Bakar biodisel.....	11
Gambar 2.2. Siklus empat langkah.....	15
Gambar 2.3. Tahapan pembakaran pada mesin diesel.....	16
Gambar 2.4. Skema kerja <i>governor</i> mekanis-hidraulis.....	18
Gambar 2.5. Pengaruh angka setana dan temperatur terhadap pembakaran spontan.....	23
Gambar 2.6. Waktu tunda penyalaan untuk droplet methanol dalam udara panas.....	24
Gambar 2.7. Skema Proses Pemanasan Biodiesel.....	25
Gambar 2.8. Visualisai Bahan Bakar.....	26
Gambar 2.9 Simulasi Semprotan pada Pamb =1 bar .....	26
Gambar 2.10 Distribusi diameter droplet terhadap panjang lintasan.....	27
Gambar 2.11 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Berat Jenis Solar dan Viskositas Solar.....	28
Gambar 2.12 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Solar dengan Beberapa Temperatur Bahan Bakar.....	28
Gambar 2.13 Grafik perbandingan efisiensi termal mesin diesel terhadap beban pada berbagai temperatur bahan bakar solar.....	30
Gambar 2.14 Grafik Perbandingan Bsfc Solar terhadap Beban dengan beberapa temperatur bahan bakar.....	30
Gambar 2.15 Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar solar.....	31
Gambar 2.16 Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar biodiesel B5.....	31
Gambar 2.17 Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar biodiesel B10.....	32
Gambar 3.1. Mesin Diesel Diamond tipe Di800.....	33
Gambar 3.2. <i>Generator Daiho</i> .....	34

Gambar 3.3. Skema Proses Pemanasan Biodiesel.....	35
Gambar 3.4. Beban Lampu 4000 watt.....	35
Gambar 3.5. Kamera cannon EOS 600D.....	36
Gambar 3.6. Tabung ukur konsumsi bahan bakar 25ml.....	37
Gambar 3.7. <i>Amperemeter dan Voltmeter Dekco</i> .....	37
Gambar 3.8. <i>Thermometer Digital</i> .....	38
Gambar 3.9 . <i>Tachometer digital</i> .....	38
Gambar 3.10 Casio <i>Stopwatch</i> .....	38
Gambar 3.11. Peralatan pengukur densitas.....	39
Gambar 3.12. Peralatan pengukur viskositas.....	40
Gambar 3.13. Skema Peralatan Uji Tegangan Permukaan .....	41
Gambar 3.14. Peralatan uji visualisasi semprotan.....	42
Gambar 3.15. Skema Percobaan.....	46
Gambar 3.16. Skema Alat pemanas Bahan Bakar .....	47
Gambar 4.1. Visualisasi karakteristik semprotan injector bahan bakar solar dan biodiesel pada temperatur 27 °C.....	54
Gambar 4.2. Visualisasi semprotan biodiesel dengan variasi temperatur 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70°C.....	54
Gambar 4.3. Grafik tegangan permukaan terhadap temperatur.....	57
Gambar 4.4. Grafik tegangan permukaan terhadap temperatur..	58
Gambar 4.5. Grafik Daya Terhadap Beban.....	62
Gambar 4.6. Grafik Torsi Terhadap Beban.....	64
Gambar 4.7. Grafik Bmep Terhadap Beban.....	65
Gambar 4.8. Grafik Sfc Terhadap Beban.....	67
Gambar 4.9. Grafik Effisiensi Thermal terhadap beban.....	69
Gambar 4.10. Grafik Temperatur <i>Exhaust</i> Terhadap Beban.....	71
Gambar 4.11. Grafik Temperatur Engine Terhadap Beban.....	73

Gambar 4.12. Grafik Temperatur Oli Terhadap Beban.....	51
Gambar 4.13. Grafik Temperatur Pendingin Terhadap Beban.....	52



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komparasi Properties Bahan Bakar Nabati (Biodiesel) dan Solar .....	13
Tabel 4.1 Hasil pengujian <i>properties</i> biodiesel <i>palm oil</i> ..	56

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Bahan bakar minyak fosil adalah sumber energi yang tidak dapat diperbarui dan paling banyak digunakan. Seiring dengan perkembangan jaman dan teknologi kebutuhan akan minyak bumi semakin meningkat. Karena hal tersebut persediaan minyak bumi semakin menipis sehingga harga minyak di pasaran semakin mahal. Ketergantungan masyarakat Indonesia terhadap bahan bakar minyak dan semakin langkanya minyak bumi mendorong manusia menggunakan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui yakni berasal dari tumbuhan. Kelapa sawit merupakan tumbuhan yang berpotensi untuk menghasilkan minyak nabati yang dapat diolah menjadi biodiesel. Minyak sawit ini merupakan produk nabati dari olahan buah kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit ini merupakan jenis tanaman yang dapat tumbuh dengan mudah dengan iklim di Indonesia, sehingga pengembangan minyak sawit ini akan lebih mudah dilakukan dan akan menguntungkan semua pihak.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak sayur atau lemak hewan [1]. Karena biodiesel merupakan minyak non-fosil maka sudah tentu pembakarannya bebas dari sulfur, yang nantinya berdampak positif terhadap lingkungan. Secara umum karakteristik biodiesel adalah memiliki angka setana yang lebih tinggi dari minyak solar, dapat terdegradasi dengan mudah (*biodegradable*), tidak mengandung sulfur (atau sangat rendah, jika ada) dan mengandung senyawa aromatic sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan lebih ramah lingkungan dari pada bahan bakar fosil jenis minyak solar. Namun bahan bakar biodiesel yang kini ada masih memiliki kekurangan, beberapa kesimpulan dari banyak penelitian yang berkaitan dengan

penggunaan bahan bakar biodiesel seperti yang terdapat pada *The Biodiesel Handbook* oleh Knothe Gerhard, et al [2] adalah nilai viskositas dan densitas biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan minyak solar yang membuat atomisasi menjadi kurang baik sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna, akibatnya daya yang dihasilkan menjadi turun. Hal tersebut membuat nilai Sfc (*Specific Fuel Consumption*) cenderung meningkat.

Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna serta menurunkan nilai Sfc, diperlukan suatu *treatment* pada bahan bakar tersebut. *Treatment* yang dapat dilakukan terhadap biodiesel sebelum pembakaran yaitu dengan pemanasan terhadap biodiesel sampai temperatur tertentu yang akan menyebabkan penurunan densitas dan viskositas bahan bakar tersebut sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi, sehingga bila diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus yang akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Disamping itu, dengan temperatur yang lebih tinggi akan membuat biodiesel menjadi lebih mudah terbakar karna energi aktivasi bahan bakar yang menurun, sehingga dapat mengimbangi singkatnya waktu yang tersedia untuk pembakaran pada putaran tinggi.

Sudarmanta,., Sungkono [3], melakukan penelitian tentang transesterifikasi crude palm oil dan uji karakteristik semprotan menggunakan injektor motor diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *properties* biodiesel hasil transesterifikasi, dalam hal ini viskositas, densitas dan tegangan permukaan masih sedikit lebih tinggi daripada *properties* bahan bakar solar. Uji karakteristik semprotan secara eksperimental maupun simulasi computer menunjukkan bahwa viskositas yang lebih tinggi menghasilkan karakteristik atomisasi yang kurang baik, yaitu berupa evaporasi yang lebih lambat. Sedangkan densitas dan tegangan permukaan yang lebih tinggi menghasilkan bentuk, penetrasi dan droplet fase cair sedikit lebih banyak sehingga distribusi fase gas menjadi lebih sempit.

Murni [4], melakukan penelitian dengan sistem pemanas bahan bakar, solar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap viskositas dan massa jenis solar. Kemudian dilakukan uji unjuk kerja pada mesin diesel genset putaran stasioner dengan variasi pembebanan lampu. Dari hasil pengujian *properties* bahan bakar diketahui bahwa nilai viskositas dan massa jenis dari solar akan menurun seiring kenaikan temperatur bahan bakar. Sedangkan dari hasil unjuk kerja diketahui bahwa meningkatnya beban akan meningkatkan konsumsi bahan bakar namun dengan kenaikan temperatur solar akan diiringi dengan penurunan konsumsi bahan bakar. Selain itu perubahan temperatur solar akan menaikkan efisiensi mesin diesel dan juga perubahan temperatur solar akan menurunkan bsfc. Temperatur pemanasan solar paling optimal berada pada temperatur 60°C.

Suhardjianto, Okie S. [5], melakukan penelitian dengan sistem pemanas bahan bakar, solar murni dan campuran solar-biodiesel. Pengujian menggunakan mesin diesel isuzu tipe JA dengan variasi putaran mesin yang terkopel dengan *waterbreak dynamometer*. Dari hasil pengujian diketahui bahwa temperatur optimal pemanasan untuk solar adalah 50°C menghasilkan peningkatan daya dan torsi sebesar 2,35%, efisiensi termis sebesar 3,54% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 3,11%. Untuk biodiesel 5% didapatkan temperatur optimal pemanasan 55°C menghasilkan peningkatan daya dan torsi sebesar 2,96%, peningkatan efisiensi termis sebesar 4,96% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 4,23%. Dan untuk biodiesel 10% didapatkan temperatur optimal pemanasan 60°C menghasilkan peningkatan daya dan torsi sebesar 1,96%, peningkatan efisiensi termis sebesar 7,44% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 6,46%.

Berdasarkan pengaruh temperatur pemanasan terhadap perubahan *properties* bahan bakar berupa viskositas dan densitas. Maka selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap karakteristik semprotan yang ditunjukkan dengan panjang

penetrasi dan sudut semprotan secara visual kemudian diaplikasikan pada mesin diesel stasioner untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan pengaruh unjuk kerja mesin diesel injeksi langsung putaran stasioner.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka perumusan masalah pada eksperimen kali ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh temperatur pemanasan bahan bakar terhadap perubahan *properties* biodiesel berupa viskositas, densitas serta karakteristik semprotan yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh temperatur pemanasan biodiesel terhadap unjuk kerja mesin diesel putaran stasioner?

## 1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir hanya terbatas pada hal-hal sebagai berikut:

1. Alat yang akan digunakan sebagai media pengujian adalah mesin diesel Diamond tipe Di800 *direct injection* 1 silinder 4 langkah dengan generator dan Pembebanan lampu.
2. Pemanas yang digunakan dalam keadaan *steady state* dan koefisien konduksi-konveksi (perpindahan panas) diabaikan.
3. Biodiesel yang akan digunakan adalah hasil dari proses transesterifikasi minyak goreng yang memiliki *properties* sesuai standar nasional Indonesia (SNI) dengan presentase 100% (B100)
4. Kondisi udara saat pengujian adalah standar.
5. Tidak membahas pembuatan biodiesel dan perancangan elemen pemanas bahan bakar

#### **1.4. Tujuan**

Mempelajari pengaruh temperatur pemanas bahan bakar terhadap perubahan properties bahan bakar serta unjuk kerja motor diesel injeksi langsung yang berbahan bakar biodiesel murni (B100) dan mengetahui temperatur pemanasan yang sesuai dari biodiesel.

#### **1.5. Manfaat**

Manfaat Penelitian ini adalah :

1. Menjadi referensi untuk pengembangan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel.
2. Dapat meningkatkan efisiensi dan unjuk kerja motor diesel yang berbahan bakar biodiesel.
3. Memperkenalkan kepada masyarakat tentang biodiesel sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel.
4. Mendorong masyarakat untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fossil dan mulai menggunakan bahan bakar alternatif dalam hal ini biodiesel.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah material dengan suatu jenis energi yang bisa diubah menjadi energi berguna lainnya. Bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran memiliki 3 (tiga) jenis bentuk fisik atau wujudnya baik itu berupa padat, cair dan gas. Tapi untuk mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel menggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu cair dan gas. Walaupun bahan bakar padat seperti batu bara juga dapat digunakan, tapi sebelumnya akan di proses terlebih dahulu yang nantinya menjadi wujud gas [6].

#### 2.1.1 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur  $200^{\circ}\text{C} - 340^{\circ}\text{C}$ . Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus *hetadecene* ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) dan *alpha-methilnaphthalene* [7]

Properti bahan bakar adalah sifat atau karakter yang dimiliki oleh suatu bahan bakar yang terkait dengan kinerja bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran. Properti umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin diesel antara lain [6]:

##### a. *Density, Specific Gravity dan API Gravity*

*Density* didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap *volume* bahan bakar pada suhu acuan  $15^{\circ}\text{C}$  atau  $60^{\circ}\text{F}$ . Sedangkan *Specific Gravity* (*SG*) didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah *volume* minyak bakar terhadap berat air untuk *volume* yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relatif terhadap air. *Specific Gravity* dinyatakan dalam persamaan:

$$\text{SG}_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas}_{\text{bahan bakar}}}{\text{densitas}_{\text{air}}} \quad (2.1)$$



Sementara hubungan nilai *Spesific Gravity* dengan *API Gravity* adalah sebagai berikut :

$$\text{API Gravity} = \frac{141,5}{\text{SG at } 60^\circ\text{F}} - 131,5 \quad (2.2)$$

b. *Viskositas*

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Viskositas merupakan sifat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan dan jika viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam pemompaan dan sulit untuk diinjeksi sehingga atomisasi bahan bakar menjadi jelek. Viskositas bahan bakar minyak sangat penting, terutama bagi mesin-mesin diesel maupun ketel-ketel uap, karena viskositas minyak sangat berkaitan dengan suplai konsumsi bahan bakar ke dalam ruang bakar dan juga sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pengkabutan (*atomizing*) bahan bakar melalui injector. Bilamana Viskositas terlalu tinggi maka proses *atomizing* akan terganggu karena kecenderungan bahan bakar yang mempunyai viskositas tinggi akan sulit dikabutkan. Sedangkan untuk bahan bakar yang mempunyai viskositas rendah dapat menimbulkan gesekan (*abrasive*) dalam ruang bakar karena gerakan piston dalam prosesnya membutuhkan pelumasan, sehingga viskositas juga menggambarkan tingkat pelumasan dari bahan bakar. Secara logika, viskositas bahan bakar yang lebih tinggi memiliki tingkat pelumasan yang lebih baik.

Disebabkan karena fungsi solar adalah sebagai bahan bakar, maka nilai viskositas diusahakan tidak terlalu tinggi. Oleh karena itu secara umum bahan bakar solar memiliki viskositas yang relatif rendah, karena dengan viskositas yang rendah, maka bahan bakar akan lebih mudah teratomisasi pada saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar dan tidak mengalami hambatan di dalam

sistem pompa dan injeksi. Akan tetapi nilai viskositasnya juga tidak boleh terlalu rendah, karena akan menyebabkan panas berlebihan yang ditimbulkan oleh kurangnya pelumasan pada dinding silinder dan piston sehingga membuat komponen mesin menjadi cepat aus. Oleh sebab inilah karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel.

c. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan suatu zat cair didefinisikan sebagai gaya tiap satuan panjang. Jika pada suatu permukaan sepanjang  $\ell$  bekerja gaya sebesar  $F$  yang arahnya tegak lurus pada  $\ell$ , dan menyatakan tegangan permukaan. Pada umumnya nilai tegangan permukaan zat cair berkurang dengan adanya kenaikan suhu.

d. Titik nyala bahan bakar

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya sehingga pada saat memasuki ruang bakar, bahan bakar dapat menimbulkan ledakan.

e. *Pour Point*

*Pour point* atau titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

f. *Shulpur Content*

*Shulpur content* atau kandungan belerang dalam bahan bakar diesel dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang bereaksi dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Selain itu menimbulkan polusi lingkungan akibat oksidasi belerang dengan oksigen selama proses pembakaran.

g. *Distillation atau Destilasi*

Karakteristik destilasi dari bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar berubah menjadi uap (*volatility recorvery*) pada suhu tertentu.

#### h. Cetane Number

*Cetane number* atau angka setana merupakan bilangan yang menyatakan perlambatan penyalaan (*ignition delay*) dibandingkan dengan campuran volumetris *cetane* ( $C_{16}H_{34}$ ) dan  *$\alpha$ -methylnaphthalene* ( $C_{10}H_7CH_3$ ) pada *CFR engine* pada kondisi yang sama.

#### i. Calorific Value

*Calorific value* atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam phase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam phase uap). Besarnya nilai kalor atas diuji dengan *bomb calorimeter*, dan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NKB = NKA - \left( \frac{m_{air}}{m_{sample}} \times LH \right) \quad (2.3)$$

Dengan :

NKB = Nilai Kalor Bawah (kal/gram)

NKA = Nilai Kalor Atas (kal/gram)

$m_{air}$  = massa air yang berbentuk dalam proses pembakaran (gram)

$m_{sampel}$  = massa sampel yang uji bahan bakar (gram)

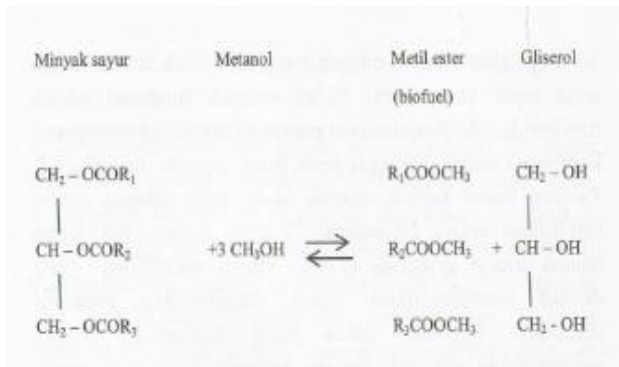
LH = panas laten penguapan air (kal/gram)

#### j. Carbon Residue

Banyaknya deposit atau kerak pada dinding ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan *carbon residue* suatu bahan bakar. *Carbon residue* atau residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin, karena pada suhu tinggi karbon ini dapat membara sehingga menaikkan suhu ruang bakar.

### 2.1.2 Biodiesel

Secara umum, biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri dari campuran mono alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel karena terbuat dari sumber terbarui seperti minyak nabati atau lemak hewan. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel akan mengurangi emisi hidrokarbon dan kemunculan gas SO<sub>x</sub> serta partikel padatan. Hal ini dikarenakan oksigen dalam biodiesel akan membantu kesempurnaan pembakaran sehingga dihasilkan CO<sub>2</sub>. Penambahan biodiesel pada bahan bakar solar pada dasarnya dapat mempengaruhi karakterisasi berupa diameter rata-rata droplate yang lebih besar dan penetrasi semprotan yang lebih panjang, Kawano (6). Biodiesel juga menunjukkan potensi besar untuk kompresi-penyalaan mesin, Demirbas [8].



Gambar 2.1 Persamaan reaksi untuk menghasilkan bahan bakar biodisel (Sumber : Biofuel Melawan Ketidakpastian. R.Choernadi Tomo.2015:Pertamina)

Menurut Ananta Anggraini dalam Suhartanta [9], biodiesel adalah bahan bakar cair dari hasil proses transesterifikasi minyak atau lemak. Proses transesterifikasi tersebut pada prinsipnya dilakukan dengan maksud mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksi-kan asam lemak bebasnya dengan alkohol menjadi *alcohol ester (Fatty Acid Methyl Ester/FAME)*. Dalam prakteknya

transesterifikasi dilakukan dengan mencampur minyak nabati/hewani dengan alkohol (methanol, etanol dan lain sebagainya) dengan menggunakan katalisator KOH atau NaOH. Proses transesterifikasi dilakukan selama 1 sampai 3 jam pada suhu kamar atau pada suhu yang lebih tinggi, campuran yang terjadi didiamkan sehingga terbentuk dua lapisan, yaitu lapisan bawah (*gliserin*) dan lapisan atas adalah metil ester.

Biodiesel sama halnya dengan biopetrol, namun cairan yang diperoleh dari proses pembuatannya mempunyai rantai karbon yang panjang, bahkan lebih panjang dari rantai karbon solar dan sedikit lebih pekat dibanding dengan bahan bakar diesel dari minyak bumi, Kawano [5]. Biodiesel dapat dimanfaatkan secara murni (*neat*) 100% ataupun dalam bentuk campuran (*blend*) dengan minyak solar misalnya B10, tanpa mengharuskan adanya modifikasi signifikan pada mesin kendaraan. Bentuknya yang cair dan kemampuan dicampurkan dengan solar pada segala perbandingan merupakan salah satu keunggulan dari biodiesel.

Pada umumnya campuran solar dan biodiesel dapat memberikan unjuk kerja pada mesin yang lebih baik dari pada menggunakan biodiesel murni. Sebaliknya pemakaian biodiesel murni dapat menimbulkan masalah seperti kesulitan saat *start-up*, penyumbatan pada filter dan masalah lain dalam saluran bahan bakar hal ini karena meskipun hasil dari biodiesel terlihat sangat jernih namun pada dasarnya masih terdapat partikel-partikel pengotor yang tidak terlihat oleh mata dan oleh karena hal inilah semua mesin diesel setelah bahan bakar dipompakan oleh pompa bertekanan rendah (*fuel feed pump*) bahan bakar kemudian akan disaring oleh filter guna memastikan tidak ada kotoran atau benda asing yang nantinya menyebabkan penyumbatan pada lobang nosel. Sehingga bahan bakar dengan kondisi bersih akan dipompakan dengan pompa bertekanan tinggi (*fuel injection pump*) menuju nosel atau *injector*, Kawano [6].

## 2.2. Spesifikasi Biodiesel

Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar, biodiesel harus mempunyai kemiripan sifat fisik dan kimia dengan minyak solar. Salah satu sifat fisik yang penting adalah viskositas. Sebenarnya, minyak lemak nabati sendiri dapat dijadikan bahan bakar, namun, viskositasnya terlalu tinggi ( $28 - 40 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan bakar mesin diesel, Chen, Hao *et all* [10]. Karna Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam kamar pembakaran, Destianna *et all* [11]. Proses Transesterifikasi dilakukan untuk menurunkan viskositas minyak nabati sehingga dapat menjadi biodiesel yang memiliki karakteristik mendekati solar.

Tabel 2.1 Komparasi Properties Bahan Bakar Nabati (Biodiesel) dan Solar

Sifat-sifat	Solar	Biodiesel Palm Oil	Biodiesel Standar SNI
Densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) pada suhu $40^\circ\text{C}$	844	868	850 – 890
Viskositas Kinematis pada $40^\circ\text{C}$ ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	3,32	4	2,3 – 6
Tegangan Permukaan ( $\text{dyne}/\text{cm}$ )	66	68	<70
Angka Cetane	42	62	>51
Flash Point ( $^\circ\text{C}$ )	70	174	Min. 100
LHV ( $\text{kg}/\text{kJ}$ )	40297	37144	-

Sumber : Hambali, Erliza. 2007. Jarak pagar tanaman penghasil biodiesel. Cetakan keempat, Jakarta : Penebar Swadaya.

Bahan bakar biodiesel yang dibuat dari minyak nabati harus memenuhi standar yang ada Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan tujuan agar dapat dipakai pada mesin diesel dan memiliki properties yang mendekati solar. Adapun spesifikasi biodiesel yang sesuai dengan SNI No. 04-7182-2006 sebagaimana pada Tabel 2.1.

### **2.3. Teori Pembakaran**

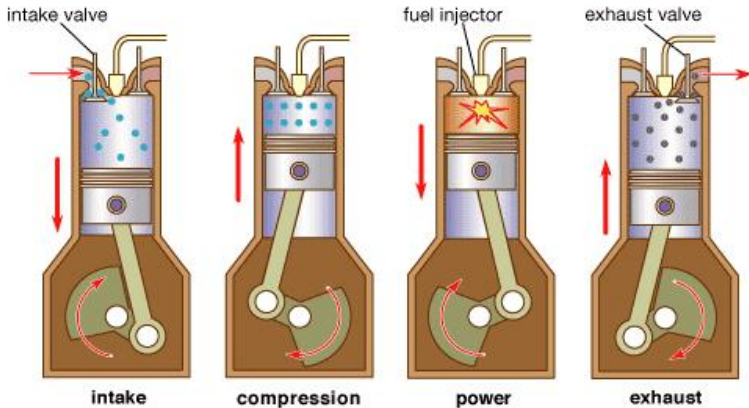
Pembakaran adalah suatu runtutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksigen, disertai dengan produksi panas dalam bentuk api. Dalam suatu reaksi pembakaran lengkap, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasinya. Pada aplikasinya, oksidan pada pembakaran adalah oksigen pada udara. Tiga unsur kimia utama dalam elemen mampu bakar (combustible) pada bahan bakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur.

### **2.4. Dasar teori mesin diesel**

Mesin diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran, Kawano [6].

#### **2.4.1. Siklus Kerja Motor Diesel Empat Langkah**

Motor diesel empat langkah akan menghasilkan satu kali kerja dalam empat langkah gerakan piston (dua kali putaran engkol). Gambar 2.2. Menjelaskan tentang siklus kerja mesin diesel empat langkah.



Gambar 2.2. Siklus empat langkah, Heywood, J.B., Internal Combustion Engines Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.

Berikut adalah penjelasan siklus kerja motor diesel empat langkah :

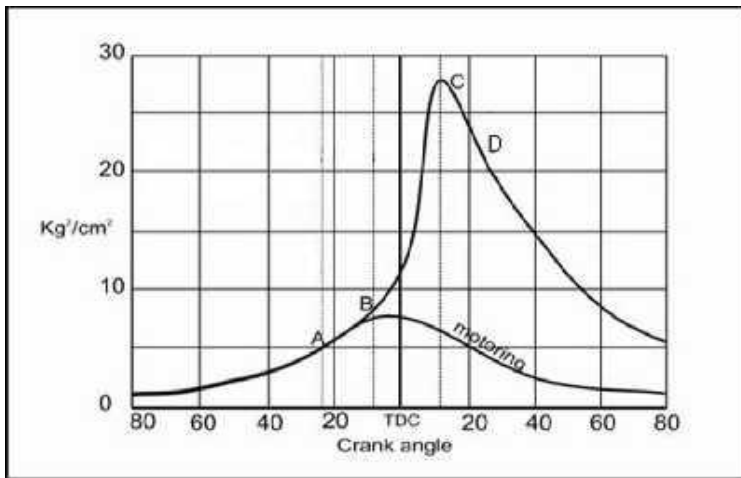
- a. Langkah hisap. Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder.
- b. Langkah kompresi. Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari TMB ke TMA menekan udara yang ada dalam silinder sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar di injeksikan.
- c. Langkah ekspansi. Karena injeksi bahan bakar ke dalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar yang bercampur udara bertekanan terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB. Kedua katup tertutup pada langkah ini
- d. Langkah buang. Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA gas sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang lagi.



### 2.4.2. Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel

Untuk terjadinya pembakaran pada ruang bakar, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain: adanya campuran yang dapat terbakar, adanya sesuatu yang menyulut terjadinya pembakaran, stabilisasi dan propagasi dari api dalam ruang bakar.

Proses pembakaran pada mesin diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P- $\theta$  seperti pada Gambar 2.3. Tahapan pembakarannya, Kawano [5] yaitu:



Gambar 2.3 Tahapan pembakaran pada mesin diesel [10]

a. Tahap Pertama

*Ignition delay period* yakni waktu dimana bahan bakar siap terbakar namun belum dinyalakan. Ignition delay dihitung dari awal injeksi sampai titik dimana pada kurva p- $\theta$  berpisah dengan kurva tekanan udara saja. *Delay period* ditunjukkan oleh titik A-B.

b. Tahap kedua

*Rapid* atau *uncontrolled combustion* (dapat digolongkan sebagai *pre-mixed flame*) terjadi setelah pengapian. Dalam tahap kedua ini kenaikan tekanan cepat karena selama dalam periode tunda butiran lembut bahan bakar telah mempunyai waktu untuk menyebarkan dirinya sendiri pada daerah yang

luas dan mereka telah mendapatkan udara segar disekelilingnya. Periode *rapid* atau *uncontrolled combustion* dihitung mulai dari akhir dari periode tunda sampai dengan tekanan tertinggi pada diagram indikator. Kira-kira sepertiga dari panas terlibat sampai tahap ini.

c. Tahap Ketiga

*Controlled combustion*, periode kedua dari *rapid* atau *uncontrolled combustion* diikuti oleh tahap ketiga yakni *controlled combustion*. Pada akhir tahap kedua temperatur dan tekanan membuat butiran lembut bahan bakar yang terinjeksikan pada tahap akhir injeksi terbakar seketika, dan kenaikan tekanan dapat dikontrol dengan cara mekanisme murni yakni pengaturan laju injeksi. Periode *controlled combustion* diasumsi sampai akhir pada temperatur maksimum siklus. Panas yang terlibat sampai akhir *controlled combustion* sekitar 70 %-80 % dari total panas dari bahan bakar yang disuplai selama siklus.

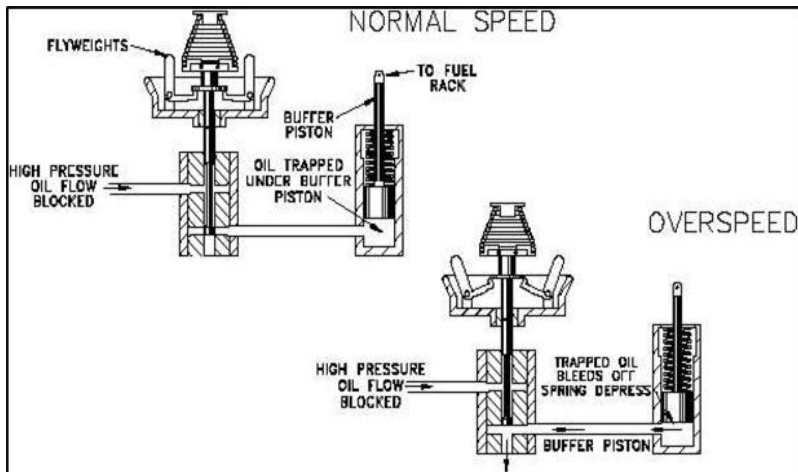
d. Tahap Keempat

Tahap keempat ini tidak terjadi pada semua kasus pembakaran pada motor CI, *After burning*. Secara teoritis diharapkan proses pembakaran berakhir setelah selesainya tahap ketiga. Namun karena distribusi partikel bahan bakar kurang baik, pembakaran berlanjut pada sisa langkah ekspansi. Dari itulah nama *after burning* atau tahap keempat dikembangkan. Panas total yang terlibat sampai akhir pembakaran adalah 95%-97% sedangkan sisa panas, 3%-5% keluar ke sistim ekshause sebagai *unbrunt fuel*.

### 2.4.3. Governor Pada Mesin Diesel

*Governor* adalah komponen pada motor bakar yang berfungsi untuk mengontrol putaran mesin dengan cara mengendalikan jumlah bahan bakar yang diberikan sehingga putarannya dapat dipertahankan tetap stabil tanpa tergantung kondisi pembebanan. Sistem pengendalian dengan *governor* digunakan baik pada mesin stasioner maupun mesin otomotif

seperti pada mobil dan traktor. Pada mesin modern seperti saat ini mekanisme *governor* umumnya menggunakan mekanisme mekanis-hidrolis (*woodward governor*), walaupun terdapat juga versi *governor* elektrik. Gambar 2.4. Menunjukkan cara kerja *governor* yang menggunakan mekanisme mekanis-hidrolis dalam pengendalian putaran mesin yang berlebihan pada mesin diesel. Dalam hal ini, *governor* mengendalikan posisi tuas pengontrol bahan bakar yang dikombinasikan dengan aksi dari *piston* hidrolis dan gerakan bandul berputar. Posisi dari bandul ditentukan oleh kecepatan putaran dari mesin, jika putaran mesin naik atau turun maka bandul berputar mekar atau menguncup. Gerakan dari bandul ini, karena perubahan putaran mesin, akan menggerakkan *piston* kecil (*pilot valve*) pada sistem hidroliknya. Gerakan ini mengatur aliran cairan hidrolis ke *piston* hidrolis (*piston motor servo*). *Piston motor servo* dihubungkan dengan tuas pengatur bahan bakar (*fuel rack*) dan gerakannya akan menyebabkan penambahan atau pengurangan jatah bahan bakar yang di-supply.



Gambar 2.4. Skema kerja governor mekanis-hidraulis.

Ada empat tipe pengontrolan mesin menggunakan *governor*:

- Pertama, jika hanya satu kecepatan yang dikontrol maka digunakan tipe *governor* kecepatan tetap atau *constant-speed type governor*.
- Kedua, jika putaran mesin dapat dikendalikan beberapa tingkat secara manual melalui pengaturan dengan alat bantu, maka disebut tipe *governor* kecepatan variabel atau *variable-speed type governor*.
- Tipe ketiga ini adalah pengontrolan agar putaran mesin dapat dipertahankan di atas batas minimum atau di bawah batas maksimum, dan disebut *governor* pembatas kecepatan atau *speed limiting type governor*.
- Tipe pengontrolan keempat adalah tipe *governor* yang digunakan untuk membatasi beban mesin, dan disebut tipe *governor* pembatas beban atau *load-limiting type governor*.

#### 2.4.4. Unjuk kerja mesin diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin diesel biasanya berhubungan dengan :

##### 1. Daya

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 500 watt – 4000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator ( $N_e$ ). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

$$N_e = \frac{V \times I \times \cos\phi}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}} (\text{Watt}) \quad (2.4)$$

Dengan :

$N_e$  : Daya mesin (W)

$V$  : Tegangan listrik (Volt)

$I$  : Arus listrik (Ampere)

$\eta_{gen}$  : Effisiensi mekanisme generator (0,9)

$\eta_{transm}$  : Effisiensi transmisi (0,95)

$\cos \theta$  : Faktor daya listrik ( $\cos \phi$ ) = 1

## 2. Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Mt = \frac{60 \times Ne}{n} (N.m) \quad (2.5)$$

Dengan :

$Mt$  : Torsi (N.m)

$Ne$  : Daya (W)

$n$  : Putaran mesin (rev/min)

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

## 3. Brake Tekanan Efektif Rata-Rata (*bmp*)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

Perumusan  $b_{mep}$  adalah :

$$b_{mep} = \frac{NexZx60}{AxLxnxixi} (N/m^2) \quad (2.6)$$

Dengan :

- $N_e$  : Daya poros mesin (Watt)
- $A$  : Luas penampang piston ( $m^2$ )
- $L$  : Panjang langkah piston (m)
- $i$  : Jumlah silinder
- $n$  : putaran mesin diesel (rpm)
- $z$  : 1 (mesin 2 langkah) atau 2 (mesin 4 langkah)

#### 4. *Specific Fuel Consumption (sfc)*

*Specific fuel consumption (Sfc)* adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) *hp* selama 1 (satu) jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar  $m$  (kg) dalam waktu  $s$  (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar  $b_{hp}$  (HP) maka pemakaian bahan bakar perjam  $m_{bb}$  adalah :

$$m_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} (kg) \quad (2.7)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$sfc = \frac{m_{bb}}{N_e} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \quad (2.8)$$

#### 5. Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Mass flow rate bahan bakar} \times \text{Nilai kalor bawah bahan bakar}} \times 100\%$$

Atau dapat ditulis :

$$\eta_{th \text{ single fuel}} = \left( \frac{N_e}{(\dot{m}_{\text{bahan bakar}} \cdot Q_{\text{bahan bakar}})} \right) \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana Q adalah nilai kalor bawah (*Lower Heating Value, LHV*) atau panas pembakaran bawah bahan bakar [Kcal/kg bahan bakar]. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. LHV dapat dinyatakan dengan rumus empiris (bahan bakar solar) sebagai berikut:

$$\text{LHV} = [16280 + 60(\text{API})] \text{ Btu/lb} \quad (2.10)$$

Dengan :

$$1 \text{ Btu/lb} = 2,326 \text{ kJ/kg}$$

$$1 \text{ kJ/kg} = \left[ \frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

*API Gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. *API Gravity* diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga *API Gravity* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{API} = \frac{141,5}{\text{Spesific Gravity pada } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5 \quad (2.11)$$

Dengan *specific gravity* bahan bakar biodiesel adalah 0,86.

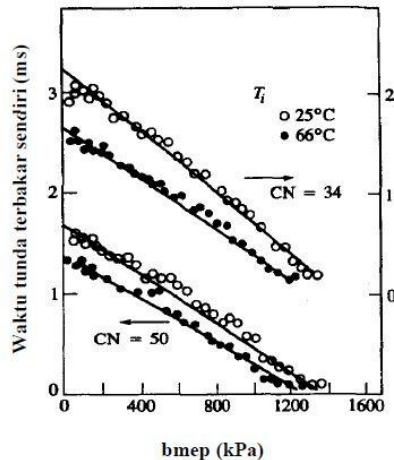
## 2.5. Karakteristik Semprotan

Karakteristik semprotan bahan bakar dipengaruhi oleh *properties* fisik bahan bakar berupa densitas, viskositas dan tegangan permukaan. Untuk semprotan pada ruang terbuka (ambient atmospheric pressure), semakin tinggi *properties* fisik bahan bakar akan menghasilkan penetrasi semprotan yang semakin panjang. Sedangkan kenaikan tekanan dan suhu ambient menyebabkan *phase* cairan semprotan menjadi lebih pendek dan tipis. Hal ini disebabkan oleh kenaikan momentum dan perpindahan panas droplet ke udara ambient [3].

Karakteristik semprotan bahan bakar (*spray tip penetration, spray cone angle and atomization*) mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses pencampuran bahan bakar-udara di ruang bakar [3]. Karakteristik semprotan bahan bakar solar sebagai acuan menghasilkan penguapan dan pembakaran yang paling baik sehingga karakteristik semprotan biodiesel diinginkan menyerupai bahan bakar solar.

## 2.6. Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar

Salah satu kendala utama dalam menggunakan Bahan bakar Biodiesel adalah viskositasnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan daya dan penurunan efisiensi yang dihasilkan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel. Penyebabnya karena proses pembakaran yang terjadi didalam mesin diesel sering berlangsung secara tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna ini dipengaruhi oleh proses pencampuran antara udara dan bahan bakar yang tidak sempurna, Chen, Hao *et al* [10].

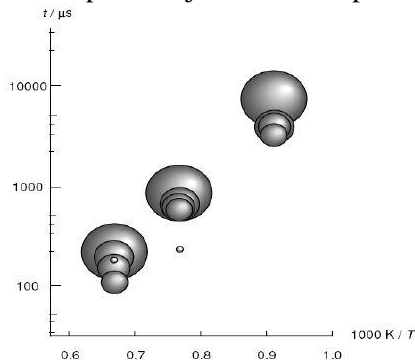


Gambar 2.5 Pengaruh angka setana dan temperatur terhadap pembakaran spontan (Heywood, 1988).



Menurut Sazhin [12] pembakaran spontan dipengaruhi oleh temperatur bahan bakar dan tekanan di dalam silinder pembakaran. Sedangkan Heywood [13] dalam bukunya yang berjudul *Internal Combustion Engine Fundamentals* menerangkan bahwa pembakaran spontan disamping dipengaruhi oleh angka cetana, tekanan efektif, juga dipengaruhi oleh temperatur bahan bakar seperti terlihat pada Gambar 2.5. Kemudian menurut Warnatz, et al [14] pada Gambar 2.6 Menunjukkan bahwa pada temperatur yang sama, diameter bintik yang terkecil mempunyai waktu tunda penyalaan (*Ignition delay times*) yang paling cepat, atau dapat dikatakan bahwa bila semprotan bahan bakar dari nosel dapat berbentuk bintik-bintik yang kecil maka waktu pembakaran yang terjadi akan semakin cepat.

Pemanasan terhadap Biodiesel sampai temperatur tertentu sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi akan menyebabkan penurunan viskositas dan densitas biodiesel tersebut. Penurunan viskositas biodiesel akan membuat campuran udara dan bahan bakar saat diinjeksikan lebih homogen di ruang bakar. Sehingga bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran yang lebih halus dan bahan bakar tersebut akan lebih mudah bercampur dengan udara di dalam ruang bakar dan pembakaran pun menjadi lebih sempurna.

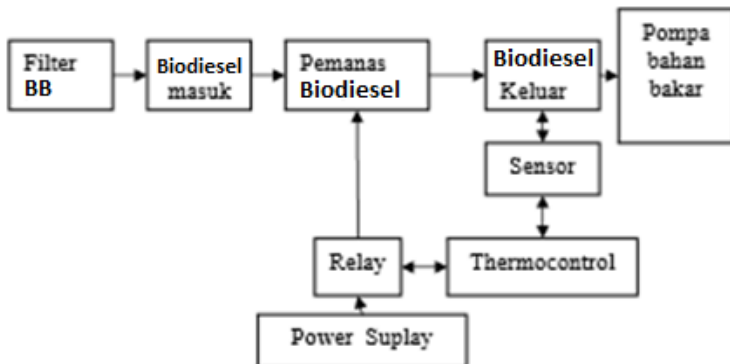


Gambar 2.6 Waktu tunda penyalaan untuk droplet methanol dalam udara panas (hubungan temperatur gas dan ukuran diameter Droplet ( dari 10  $\mu\text{m}$  sampai 100  $\mu\text{m}$ ) (Warnatz, et all, 2006).

Tetapi perlu diingat temperatur bahan bakar yang terlalu panas juga akan merugikan karena akan merusak sebagian sistem dari pompa tekanan tinggi, terutama seal dari karet yang rentan terhadap suhu tinggi. Selain itu Penurunan viskositas juga dapat mengakibatkan turunnya sifat pelumasan bahan bakar. Hal itu terjadi karena mesin diesel biasanya dijalankan dengan bahan bakar yang dipasok pada suhu kamar. Pemanasan yang sesuai akan memberikan viskositas rendah mirip dengan *diesel fuel*, tetapi tidak begitu tinggi sehingga tidak merusak sistem injeksi.

## 2.7. Sistem Pemanas Biodiesel

Untuk mencapai temperatur diatas temperatur ruang dari bahan bakar maka diperlukan suatu sistem pemanas. Sistem pemanas tersebut merupakan suatu peralatan yang mensuplai kalor ke bahan bakar sehingga mencapai suhu yang diinginkan. Untuk sumber kalor bisa didapat dari arus listrik atau panas air radiator.



Gambar 2.7 Skema Proses Pemanasan Biodiesel

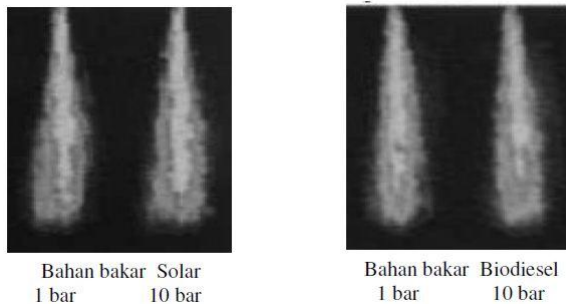
Pemanas biodiesel ini terdiri dari sebuah tabung yang mempunyai 1 saluran masuk dan 1 saluran keluar, dan terdapat elemen pemanas yang dipasang pada bagian bawahnya serta dilengkapi juga dengan sensor pengukur temperature yang diletakkan di dekat saluran pipa keluar dalam tabung yang kemudian dihubungkan pada sebuah rangkaian pengkondisi sinyal supaya besarnya pengukuran dapat terbaca pada sebuah multimeter

digital yang digunakan sebagai *display*. Elemen pemanas yang digunakan dihubungkan dengan suplai listrik arus bolak-balik namun sebelumnya dilewatkan dulu ke sebuah rangkaian *thermocontrol* yang digunakan untuk mengatur besarnya panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas tersebut. Alat ini dipasang antara filter bahan bakar dan pompa tekanan tinggi, sehingga dengan demikian biodiesel yang akan masuk ke pompa tekanan tinggi ini dapat diatur temperaturnya.

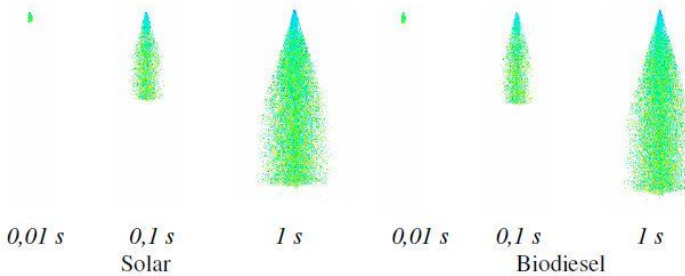
## 2.8. Penelitian Terdahulu

### 1. Penelitian yang dilakukan oleh Sudarmanta [3]

Penelitian Sudarmanta menggunakan bahan bakar biodiesel *palm oil* dari hasil proses transesterifikasi kemudian dilakukan pengujian properties bahan bakar dan uji karakteristik semprotan secara simulasi dan pengatan visual.

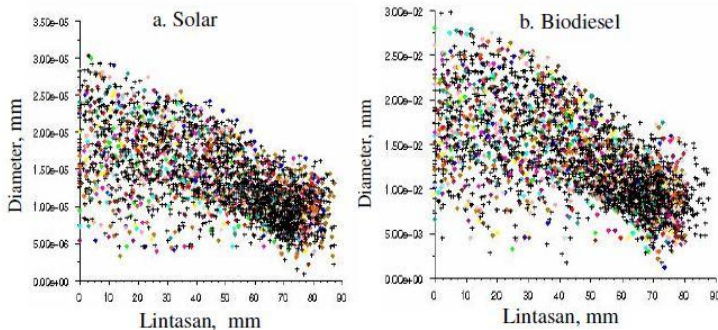


Gambar 2.8. Visualisai Bahan Bakar



Gambar 2.9. Simulasi Semprotan pada Pamb = 1 bar

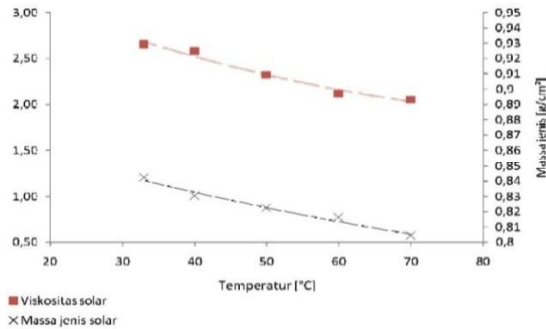
Hasil penelitian menunjukkan bahwa properties biodiesel hasil transesterifikasi, dalam hal ini viskositas, densitas dan tegangan permukaan masih sedikit lebih tinggi daripada properties bahan bakar solar. Uji karakteristik semprotan secara eksperimental maupun simulasi komputer menunjukkan bahwa viskositas yang lebih tinggi menghasilkan karakteristik atomisasi yang kurang baik, yaitu berupa evaporasi yang lebih miskin. Sedangkan densitas dan tegangan permukaan yang lebih tinggi menghasilkan bentuk, penetrasi dan droplet fase cair sedikit lebih banyak sehingga distribusi fase gas menjadi lebih sempit.



Gambar 2.10. Distribusi diameter droplet terhadap panjang lintasan

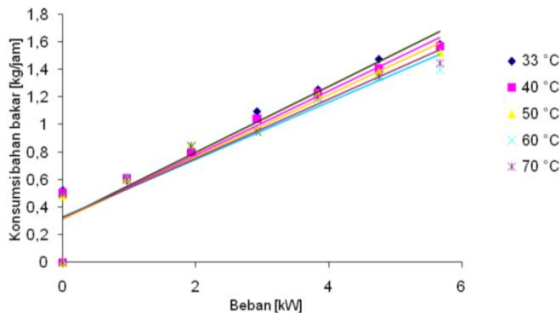
## 2. Penelitian yang dilakukan oleh Murni [4]

Penelitian Murni menggunakan bahan bakar solar dengan sistem pemanas bahan bakar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap viskositas dan massa jenis solar. Kemudian dilakukan uji unjuk kerja pada mesin diesel stasioner. Hasil pengujian massa jenis dan viskositas minyak solar tersaji pada Gambar 2.11. Tersebut mengilustrasikan pengaruh temperatur terhadap viskositas dan massa jenis solar. Garis horizontal menunjukkan perubahan temperatur, sedangkan garis vertikal kiri menunjukkan perubahan viskositas, dan garis vertikal kanan menunjukkan perubahan massa jenis.



Gambar 2.11 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Berat Jenis Solar dan Viskositas Solar

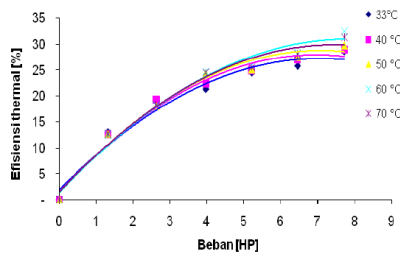
Dari Grafik 2.11. Diketahui bahwa nilai viskositas dan massa jenis dari solar akan menurun seiring kenaikan temperatur bahan bakar.



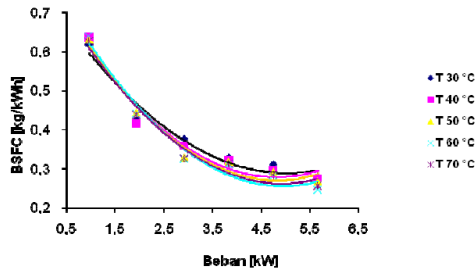
Gambar 2.12 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Solar dengan Beberapa Temperatur Bahan Bakar

Sedangkan dari grafik Gambar 2.12. Tampak bahwa dengan meningkatnya beban akan meningkatkan konsumsi bahan bakar namun dengan kenaikan temperatur solar akan diiringi dengan penurunan konsumsi bahan bakar, dari Gambar 2.13. Terlihat perubahan temperatur solar akan menaikkan efisiensi mesin diesel, Sedangkan Gambar 2.14. Terlihat juga bahwa perubahan temperatur solar akan menurunkan bsfc. Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa penurunan ini disebabkan oleh pemanasan

solar yang mengakibatkan kekentalan/ viskositas solar akan menurun sehingga saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus, dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen sehingga bahan bakar akan lebih mudah terbakar dan menyebabkan persentase bahan bakar yang terbakar akan meningkat. Dengan semakin besarnya jumlah bahan bakar yang terbakar maka peningkatan tekanan yang terjadi dalam ruang bakar akibat pembakaran akan membesar yang pada akhirnya akan meningkatkan daya yang dihasilkan oleh motor bakar. Sehingga dengan beban yang sama konsumsi bahan bakar akan berkurang. Bahwa penurunan konsumsi dan bsfc bahan bakar hanya terjadi sampai solar mencapai temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ , selebihnya bila solar terus dinaikkan temperaturnya maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan motor akan lebih besar jika dibandingkan dengan saat menggunakan solar yang bertemperatur  $60^{\circ}\text{C}$ . Peningkatan ini dapat terjadi karena dengan meningkatnya temperatur solar akan menyebabkan solar menjadi lebih mudah terbakar sehingga akan mempersingkat periode persiapan pembakaran (*ignition delay*). maka periode pembakaran cepat akan terjadi jauh sebelum piston mencapai TMA (pada langkah kompresi) sehingga tekanan puncak juga terjadi saat piston belum mencapai TMA dan ini merupakan kerugian karena tekanan tersebut seharusnya digunakan untuk langkah kerja. Dengan demikian daya yang dihasilkan akan berkurang dan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik.



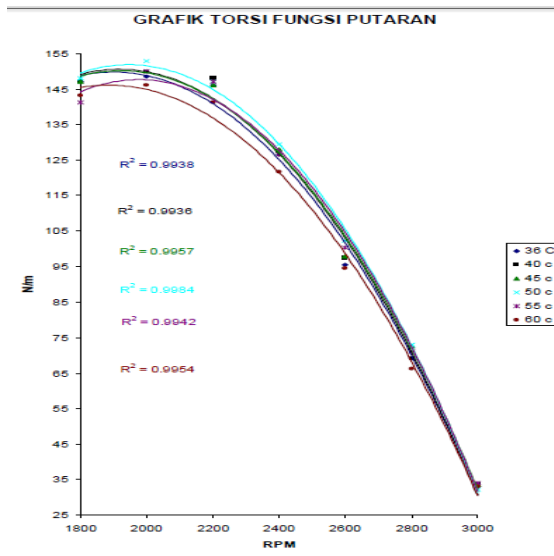
Gambar 2.13 Grafik perbandingan efisiensi termal mesin diesel terhadap beban pada berbagai temperatur bahan bakar solar.



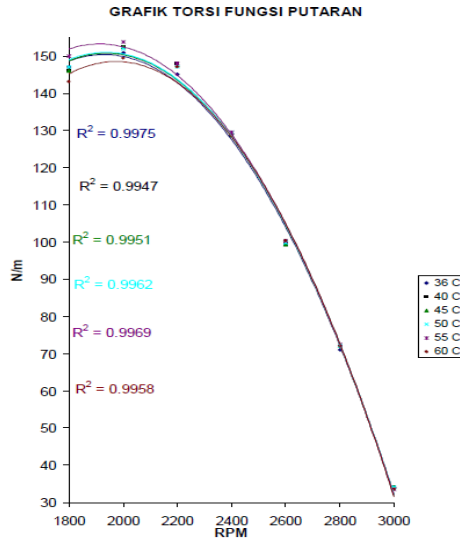
Gambar 2.14 Grafik Perbandingan Bsfcc Solar terhadap Beban dengan beberapa temperatur bahan bakar.

## 2. Penelitian yang dilakukan oleh Suhardjianto [5]

Penelitian Suhardjianto menggunakan bahan bakar solar murni dan campuran solar-biodiesel dengan penambahan pemanas bahan bakar. Pengujian menggunakan mesin diesel isuzu tipe JA dengan variasi putaran mesin yang terkopel dengan *waterbreak dynamometer*.



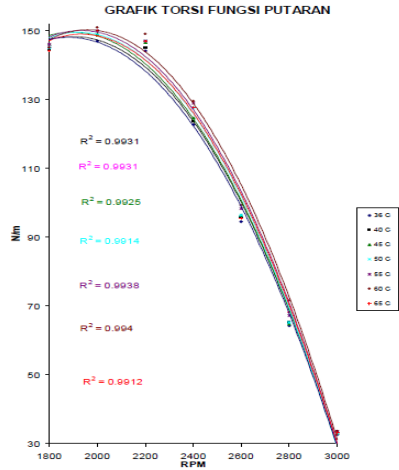
Gambar 2.15. Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar solar



Gambar 2.16. Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar biodiesel B5

Grafik 2.15. Menunjukkan perbandingan torsi fungsi putaran dengan bahan bakar solar pada motor diesel dapat diketahui bahwa motor diesel dapat menghasilkan prestasi yang paling optimal dengan bahan bakar solar yaitu pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dengan peningkatan torsi rata-rata sebesar 2,22% dari kondisi tanpa pemanasan. Sedangkan pada Grafik 2.16. Menunjukkan perbandingan torsi fungsi putaran dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B5 diketahui bahwa temperatur pemanasan optimal adalah  $55^{\circ}\text{C}$  dengan peningkatan torsi rata-rata sebesar 1,31% dari kondisi tanpa pemanasan.





**Gambar 2.17** Grafik torsi fungsi putaran dengan bahan bakar biodiesel B10

Dan Grafik 2.17. Menunjukkan perbandingan torsi fungsi putaran dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B5 diketahui bahwa temperatur pemanasan optimal adalah  $60^{\circ}\text{C}$  dengan peningkatan torsi rata-rata sebesar 2,01% dari kondisi tanpa pemanasan.

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Pendahuluan**

Dalam pendahuluan telah disebutkan bahwa tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh perubahan temperatur bahan bakar menggunakan bahan bakar biodiesel dengan sistem injeksi langsung terhadap unjuk kerja pada kondisi dan beban yang sama. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin ITS. Metode yang akan digunakan dalam pengujian adalah dengan menggunakan pengujian kecepatan konstan (*constant speed test*). Pengujian dilakukan dengan menaikkan putaran mesin hingga mesin mencapai putaran optimum kemudian generator dinyalakan dan diberikan pembebanan lampu. Kemudian diukur tegangan dan arus output dari generator kemudian mengukur waktu konsumsi 25 ml bahan bakar dan mengukur temperatur gas buang, temperatur mesin, temperatur oli pelumas, dan temperatur pendingin.

### **3.2. Alat Uji**

Alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1.Data Engine



Gambar 3.1 Mesin Diesel Diamond tipe Di800

- Merk : Diesel Diamond
- Type : Di 800
- Model : 1 Silinder Diesel 4 langkah
- Bore x Stroke : 82 mm x 78 mm
- Displacement : 411 cc
- Max Power : 8 HP (6 KW) / 2400 rpm
- Continous Power : 7 HP (5.22 KW)/2200 rpm
- Compression Ratio : 18:1
- Cooling sistem : Hopper/ Condenser
- Lube capacity : 1,8 liter

## 2. Data Generator



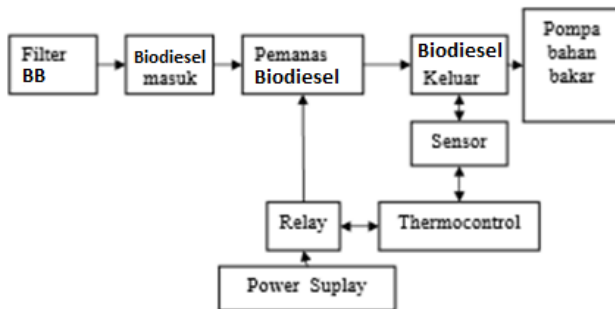
Gambar 3.2 *Generator Daiho*

- Type : ST-6
- Volt – Ampere : 230 V – 26,1 A (AC)
- Max AC Output : 6 KW
- Frequency : 50 Hz
- Loading System : Electric Bulb System
- Electric Control : Volt ,Amperemeter, Switch

## 3. Alat Pemanas Bahan Bakar

Pemanas Biodiesel ini terdiri dari sebuah tabung yang mempunyai 1 saluran masuk dan 1 saluran keluar, dan terdapat elemen pemanas yang dipasang pada bagian bawahnya serta dilengkapi juga dengan sensor pengukur temperatur yang diletakkan di dekat saluran pipa keluar dalam tabung yang

kemudian dihubungkan pada sebuah rangkaian pengkondisi sinyal supaya besarnya pengukuran dapat terbaca pada sebuah multimeter digital yang digunakan sebagai display. Elemen pemanas yang digunakan dihubungkan dengan suplai listrik arus bolak - balik namun sebelumnya dilewatkan dulu ke sebuah rangkaian potensiometer yang digunakan untuk mengatur besarnya panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas tersebut. Alat ini dipasang antara filter solar dan pompa tekanan tinggi, sehingga dengan demikian solar yang akan masuk ke pompa tekanan tinggi ini dapat diatur temperaturnya.



Gambar 3.3 Skema Proses Pemanasan Biodiesel

#### 4. Beban Lampu



**Gambar 3.4** Beban Lampu 4000 watt

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 8 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 500 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban.

## 5. Kamera Digital



Gambar 3.5 Kamera cannon EOS 600D

### Spesifikasi Kamera Canon EOS E600d

- Sensor 18.7 MP ; 22.3 x 14.9 mm CMOS sensor
- Model Type APS-C Digital SLR
- Max. Image Resolution 18 Megapixel
- Image Processor Canon DIGIC 4
- Dust Reduction System

### ***Movie Size and Recording***

- 640 x 480 (4:3) @ 60/50 FPS
- 1280 x 720 (720P, 16:9) @ 60/50 FPS
- 1920 x 1080 (1080P, 16:9) @ 30/25/24 FPS

### ***Still Image***

- Size 2592 x 1728
- Size 3456 x 2304
- Size 5184 x 3456

### 3.3 Alat Ukur

#### 1. Tabung ukur konsumsi bahan bakar



Gambar 3.6 Tabung ukur konsumsi bahan bakar 25ml

- Merek : IWAKI pyrex
- Kapasitas: 25ml
- Akurasi : 0,03 ml

#### 2. Amperemeter dan voltmeter



Gambar 3.7 Amperemeter dan Voltmeter Dekco

- Merk : Dekco
- Type : 37
- Range Arus : Max. 1000 Ampere AC dan 1000 Volt DC

#### 4. *Thermometer digital*



Gambar 3.8 *Thermometer Digital*

- Merek : PATOS
- Tipe : Type-K
- Range : 0°C-1300°C

#### 3. *Tachometer Digital*

Alat ini digunakan untuk mengukur putaran mesin.



Gambar 3.9. *Tachometer digital*

#### 4. Stop Watch



Gambar 3.10 *Casio Stopwatch*

- Merk : Casio
- Tipe : HS-3
- Akurasi : 0.01 detik

### 3.4 Pengujian *Properties* Bahan Bakar

Pengujian dilakukan dengan uji densitas dan viskositas yang temperaturnya di variasikan dari 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C.

#### 1) Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan di laboratorium Termodinamika Pembakaran dan Bahan Bakar, ITS Surabaya, dengan menggunakan picno meter. Dengan berat picnometer 15,72 g dan volume picnometer 25 ml.



Gambar 3.11. Peralatan Uji Densitas

prosedur pengujian:

- Timbang berat picnometer kosong dengan tombangan digital dan ditetapkan sebagai  $W_0$  (berat awal).
- Isi picnometer dengan sampel uji yang telah dipanaskan hingga nampak cairan sampel yang keluar dari lubang teratas pada tutup picnometer, kemudian bersihkan dengan tisu pembersih permukaan picnometer yang basah.
- Timbang kembali dengan menggunakan timbangan sebelumnya berat picnometer yang telah terisi sampel dan ditetapkan sebagai  $w_1$ .



- Menghitung nilai densitas dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{w_1 - w_0}{\text{volume picnometer}} (g/ml)$$

## 2) Uji Viskositas

Pengujian nilai viskositas dilakukan di laboratorium Termodinamika Pembakaran dan Bahan Bakar ITS Surabaya. Proses pengambilan nilai viskositas diawali dengan memanaskan sampel uji hingga temperatur tertentu, dalam pengujian ini temperatur divariasikan dari 27°C, 40°C, 55°C, dan 70°C. kemudian menuangkan sampel tersebut kedalam gelas uji sampai mencapai garis pembatas gelas. kemudian pasang *viscotester*, pastikan bagian pengaduk terendam oleh sampel uji. Nyalakan viscotester dan tunggu putaran stabil dan hasil pengukuran dapat terbaca. Satuan yang dipakai adalah Cst atau mm<sup>2</sup>/s.



Gambar 3.12. Peralatan pengukur viskositas.

## 3) Uji Tegangan Permukaan

Pengujian nilai tegangan permukaan dilakukan di laboratorium Fisika Dasar, Fisika-FMIPA ITS Surabaya. Sampel uji berupa biodiesel dengan variasi temperatur 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C. Skema peralatan ditunjukkan

pada Gambar 3.13. Satuan yang dipakai adalah dyne/cm. Dengan persamaan sebagai berikut :

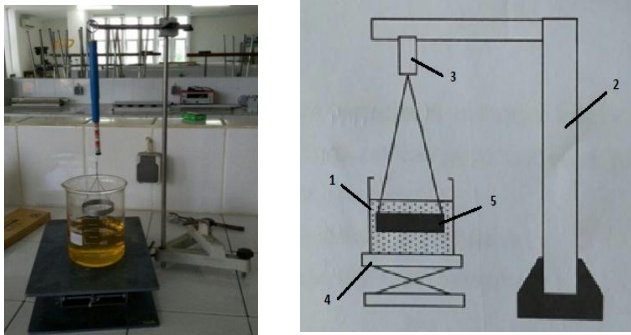
$$\alpha = \frac{\Delta F}{2\ell} = \frac{\Delta F}{2.\pi.d}$$

F : gaya (N)

$\ell$  : panjang permukaan (m)

$\alpha$  : tegangan permukaan (N/m)

d : diameter cincin (m)



Gambar 3.13. Skema Peralatan Uji Tegangan Permukaan

Keterangan :

1. Gelas Uji
2. Batang besi
3. *spring balance* skala Newton
4. Laboratory (dongkrak)
5. Cincin Aluminium

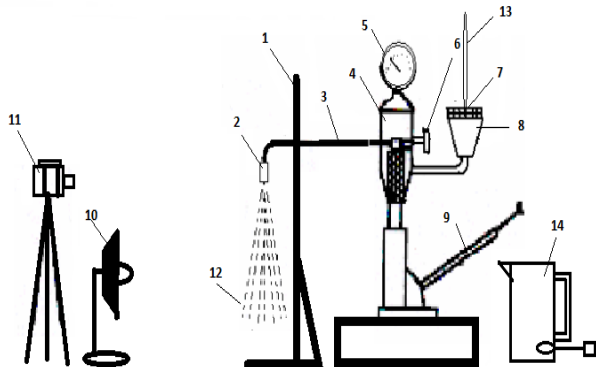
### 3.5 Pengujian Karakteristik Semprotan

*Properties* bahan bakar yang mempengaruhi atomisasi antara lain adalah viskositas, densitas, dan tegangan permukaan. Tegangan permukaan menghambat atomisasi karena lebih tahan terhadap distorsi pada permukaan cairan sehingga menghambat pembentukan ligamen. Viskositas menyebabkan pembentukan ukuran *drop* lebih besar karena ligamen cenderung sulit untuk berubah menjadi drop. Densitas cairan berpengaruh pada ukuran

drop yang dihasilkan. Pada propertis udara, interaksi antara bahan bakar dan udara berpengaruh pada karakteristik semprotan. Densitas udara mempengaruhi waktu terjadinya *breakup*. Semakin tinggi densitas, waktu *breakup* semakin cepat. Disamping itu densitas udara berpengaruh juga pada ukuran drop yang dihasilkan [16].

Karakteristik semprotan bahan bakar (*spray tip penetration, spray cone angle and atomization*) mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses pencampuran bahan bakar-udara di ruang bakar [3]. Karakteristik semprotan bahan bakar solar sebagai acuan menghasilkan penguapan dan pembakaran yang paling baik sehingga karakteristik semprotan biodiesel diinginkan menyerupai bahan bakar solar.

*Uji Karakteristik Semprotan* Uji karakteristik semprotan dilakukan dengan menggunakan rangkaian peralatan sebagai berikut :



Gambar 3.14 Peralatan uji visualisasi semprotan

Keterangan:

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| 1. Layar hitam bergaris   | 8. Tangki bahan bakar  |
| 2. <i>Nozzle injector</i> | 9. Tuas                |
| 3. Saluran pipa injeksi   | 10. Lampu              |
| 4. <i>Manual injector</i> | 11. Kamera digital     |
| 5. <i>Pressure gage</i>   | 12. Semprotan          |
| 6. <i>Katup shut off</i>  | 13. <i>Thermometer</i> |
| 7. <i>Filter</i>          | 14. Teko heater        |

Hasil semprotan difoto dengan kamera digital dan dianalisa karakteristik semprotan yang dihasilkan berupa sudut semprotan dan panjang penetrasi semprotannya. Metode pengambilan gambar yang digunakan adalah Video resolusi tinggi. Langkah pengambilan gambar semprotan bahan bakar adalah sebagai berikut :

- a) Pasang kamera pada tripod agar pengambilan gambar lebih stabil.
- b) Setting pada mode video resolusi tinggi.
- c) Pilih *aperture* sebesar  $f/4.0$
- d) Setting ISO pada *Mode Auto*
- e) Nyalakan lampu untuk membantu pencahayaan.
- f) Tuangkan Biodiesel yang telah dipanasi kedalam tangki penampung alat uji semprotan, pastikan temperatur biodiesel telah mencapai temperatur pengujian.
- g) Gerakkan tuas pompa *injector tester*, gunakan katup shut off untuk mengeluarkan udara di dalam saluran alat uji sehingga bahan bakar dapat disemprotkan injektor.
- h) Gerakan tuas pompa *injector tester* secara berulang sampai proses semprotan terjadi.
- i) Rekam proses semprotan yang dihasilkan dengan menekan tombol *shutter* pada kamera.

### 3.6 Perencanaan Penelitian

Dalam penelitian ini, dan merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Sudarmanta, *et al* (2008), mesin dijalankan secara putaran konstan sebesar 2000 rpm dengan waktu injeksi standart ( $26^0$  Before Top Dead Center, BTDC). Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel murni (B-100).

### 3.7 Pengujian Unjuk Kerja Mesin

Metode yang akan digunakan dalam pengujian adalah dengan menggunakan pengujian kecepatan konstan (constant speed test). Pengujian dilakukan dengan membuka throttle hingga mesin mencapai putaran konstan 2000 rpm kemudian generator

dinyalakan lalu dilakukan pengukuran dengan mengatur pembebanan lampu.

Setelah genset terpasang baik pada dudukannya, dilakukan persiapan pengujian:

1. Sebelum menghidupkan genset dilakukan pemeriksaan terhadap minyak pelumas, filter, sistem kelistrikan, dan lampu beban sehingga genset siap digunakan.
2. Pengecekan terhadap alat ukur yang akan digunakan dalam pengujian.
3. Saluran bahan bakar dibuka
4. Mesin dihidupkan selama  $\pm 20$  menit sampai engine mencapai kondisi kerjanya.

### **3.7.1 Pengujian Pada Kondisi Standar Dengan Bahan Bakar Solar**

Percobaan dilakukan dengan putaran mesin tetap (*stationary speed*) dengan variasi beban listrik. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin diesel generator set.
2. Melakukan pemanasan mesin diesel selama  $\pm 20$  menit hingga pelumasan mesin merata dan temperatur mesin mencapai temperatur kondisi operasi.
3. Mengatur pembebanan pada mesin diesel mulai 500 w sampai dengan 4000 w dengan interval kenaikan setiap 500 w dengan tetap menjaga putaran mesin sebesar 4000 rpm setiap pembebanan.
4. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
  - Waktu konsumsi minyak biodiesel setiap 25 ml.
  - Temperatur mesin, oli, cairan pendingin, gas buang.
  - Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
5. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol.
6. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama  $\pm 5$  menit.
7. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.

### 3.7.2 Pengujian Dengan Bahan Bakar Biodiesel

Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin diesel, pembebanan dan kelistrikan.

1. Menghidupkan mesin diesel dengan menggunakan minyak biodiesel ( $27^{\circ}\text{C}$ ) sebagai bahan bakar, tanpa memberikan beban dan membiarkannya hingga  $\pm 20$  menit.
2. Memberikan beban mulai dari 500 w sampai dengan 4000 w dengan interval kenaikan setiap 500 W.
3. Setiap variasi beban putaran engine harus tetap dijaga konstan 2000 rpm.
4. Setiap kenaikan beban, maka dilakukan pencatatan terhadap:
  - Waktu konsumsi minyak biodiesel setiap 25 ml
  - Temperatur mesin, oli, cairan pendingin, gas buang
  - Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
5. Setelah pengambilan data seluruhnya selesai dilakukan, kemudian beban listrik diturunkan secara bertahap
6. Membiarkan mesin diesel dalam kondisi tanpa beban kira-kira 5 menit, lalu mesin diesel dimatikan.

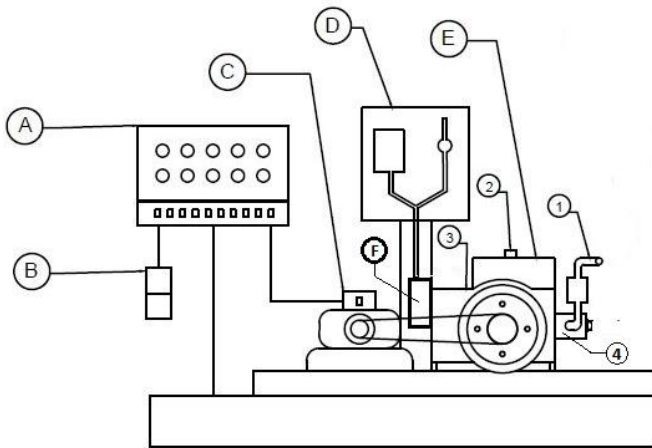
### 3.7.3 Pengujian Dengan Bahan Bakar Biodiesel Dengan Pemanas Bahan Bakar

Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin diesel, pembebanan dan kelistrikan.

1. Menghidupkan mesin diesel dengan menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar, tanpa memberikan beban dan membiarkannya hingga  $\pm 20$  menit.
2. Menghidupkan heater bahan bakar dan mensetting suhu pemanasan pada  $40^{\circ}\text{C}$
3. Memberikan beban mulai dari 500 watt sampai dengan 4000 watt dengan interval kenaikan setiap 500 W.
4. Setiap variasi beban putaran engine harus tetap dijaga konstan 2000 rpm.
5. Setiap kenaikan beban dan variasi temperatur pada bahan bakar biodiesel, maka dilakukan pencatatan terhadap:
  - Waktu konsumsi minyak biodiesel setiap 25 ml.

- Temperatur mesin, oli, cairan pendingin, gas buang.
  - Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
6. Setelah pengambilan data seluruhnya selesai dilakukan, kemudian beban listrik diturunkan secara bertahap.
  7. mengulangi proses pengujian dari *point* (3), dengan perubahan pada suhu pemanasan biodiesel dengan interval kenaikan 15 °C sampai 70 °C.
  8. Membiarkan mesin diesel dalam kondisi tanpa beban kira-kira 5 menit, lalu mesin diesel dimatikan.

### 3.8 Skema Peralatan Uji



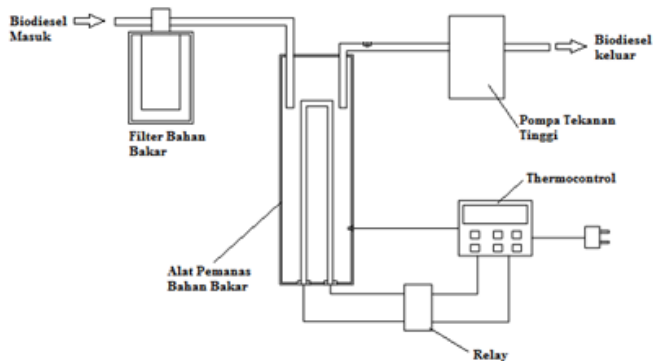
Gambar 3.15 Skema Percobaan

Keterangan :

- |                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| A. Beban lampu                        | 1. Sensor suhu gas buang     |
| B. Ampere Meter                       | 2. Sensor suhu air pendingin |
| C. Generator                          | 3. Sensor suhu oli mesin     |
| D. Alat Pengukur Konsumsi Bahan Bakar | 4. Sensor suhu mesin         |
| E. Mesin Diesel                       |                              |
| F. Alat Pemanas (heater)              |                              |

### 3.8.1 Skema Dan Mekanisme Kerja Alat Pemanas Bahan Bakar

Alat pemanas bahan bakar biodiesel dipasang diantara saluran dari filter bahan bakar dan pompa tekanan tinggi. Alat tersebut terdiri dari tabung penampung bahan bakar, elemen pemanas, *thermocontrol*, *relay* dan sensor *thermocouple*.



Gambar 3.16 Skema Alat pemanas Bahan Bakar

Mekanisme kerja dari alat pemanas bahan bakar dijelaskan sebagai berikut :

1. Bahan bakar biodiesel masuk melalui saluran masuk tabung heater.
2. Setelah temperatur input di set pada thermocontrol maka arus listrik akan mengalir melalui elemen pemanas, sehingga temperatur biodiesel tabung akan naik.
3. Suhu aktual biodiesel di dalam tabung heater akan terdeteksi oleh sensor thermocouple. Pada saat suhu aktual telah mencapai suhu input maka secara otomatis *thermocontrol* akan mengirimkan sinyal ke *relay* untuk memutuskan arus listrik yang mengalir sehingga temperatur biodiesel dapat dipertahankan sesuai temperatur input.

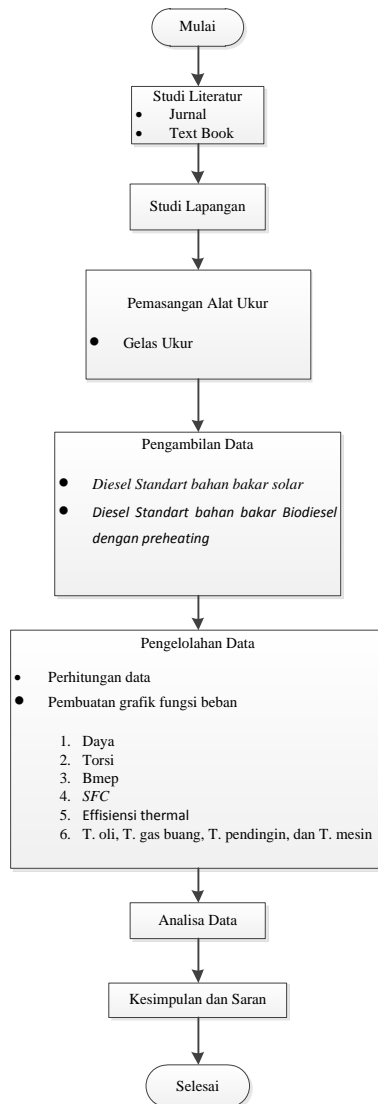


4. Proses pemanasan berlangsung continue dimana bahan bakar yang telah dipanasi akan keluar melalui saluran keluar tabung heater menuju pompa tekanan tinggi untuk diinjeksikan ke ruang bakar.

### 3.9 Parameter Uji

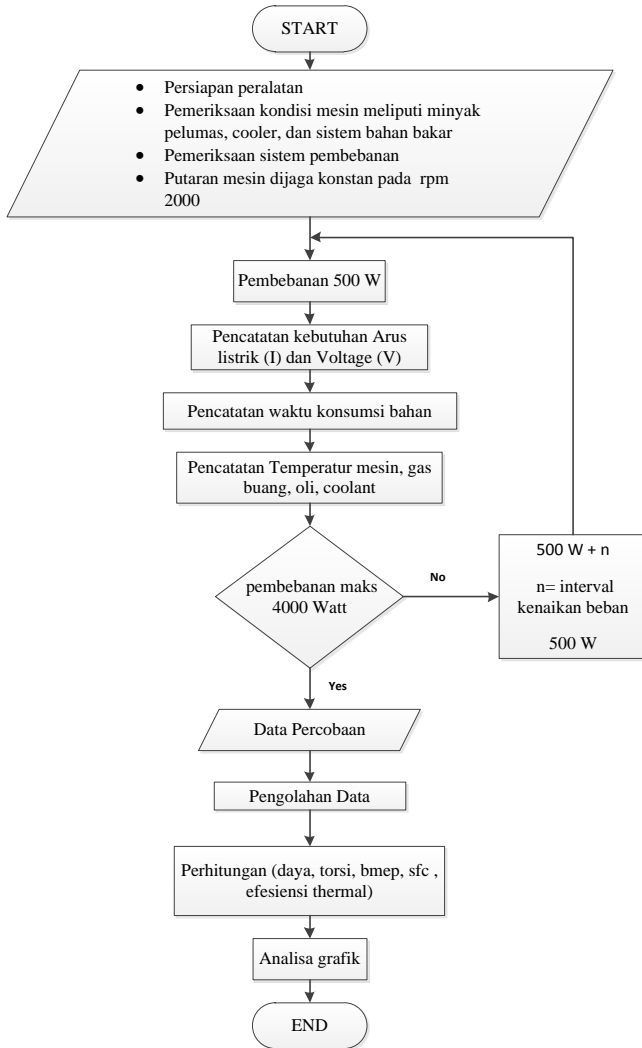
Parameter Input		Parameter Output		Hasil
Parameter Tetap	Parameter Berubah	Pengukuran	Perhitungan	Grafik
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bahan bakar biodiesel (B100)</li> <li>➤ Spesifikasi engine standar</li> <li>➤ Kondisi putaran mesin tetap 2000 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pembebanan genset divariasikan mulai :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 500 watt (12,5%)</li> <li>- 1000 watt (25%)</li> <li>- 1500 watt (37,5%)</li> <li>- 2000 watt (50%)</li> <li>- 2500 watt (62,5%)</li> <li>- 3000 watt (75%)</li> <li>- 3500 watt (87,5%)</li> <li>- 4000 watt (100%)</li> </ul> </li> <li>➤ Perubahan temperatur bahan bakar mulai 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ V dan I</li> <li>❖ Waktu konsumsi 25 ml bahan bakar</li> <li>❖ Temperatur mesin, pelumas, gas buang dan ambient</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ne</li> <li>❖ Torsi</li> <li>❖ BMEP</li> <li>❖ SFC</li> <li>❖ Effisiensi thermal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Viskositas dan Densitas Vs</li> <li>✓ Temperatur</li> <li>✓ Tegangan permukaan Vs</li> <li>✓ Temperatur</li> <li>✓ Ne vs Beban</li> <li>✓ Torsi vs Beban</li> <li>✓ BMEP vs Beban</li> <li>✓ SFC vs Beban</li> <li>✓ <math>\eta_{th}</math> vs Beban</li> </ul>

### 3.10. Flowchart Penelitian

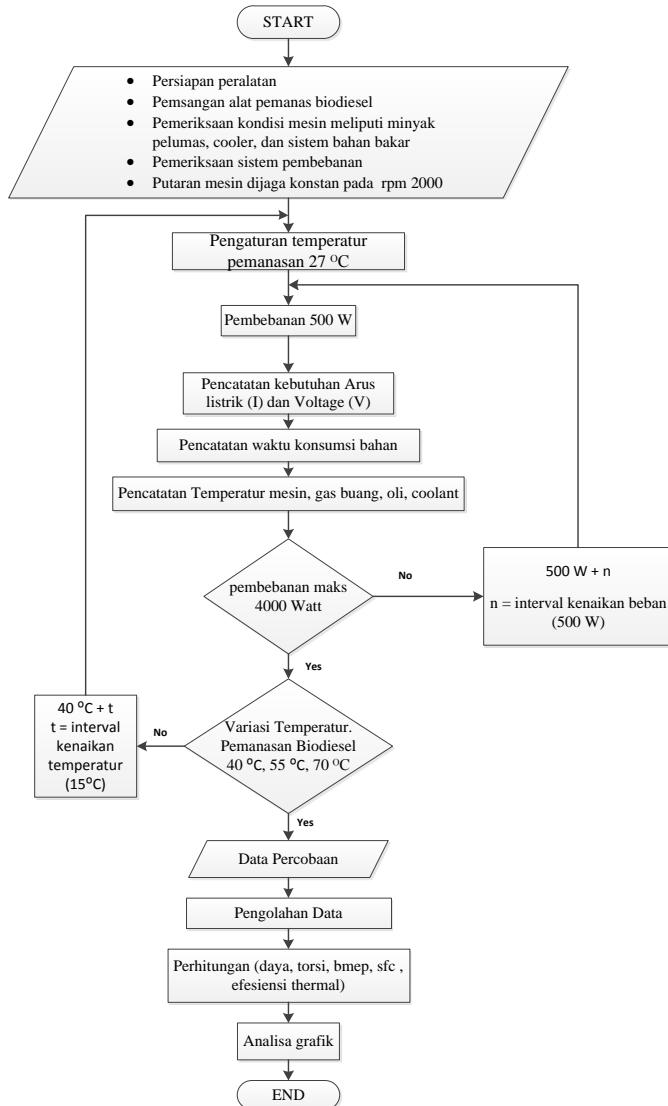


### 3.11. Flowchart pengujian

#### 3.11.1 Flowchart Pengujian Mesin Standar Bahan Bakar Solar



### 3.11.2 Flowchart Pengujian Mesin Bahan Bakar Biodiesel dengan pemanas bahan Bakar



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

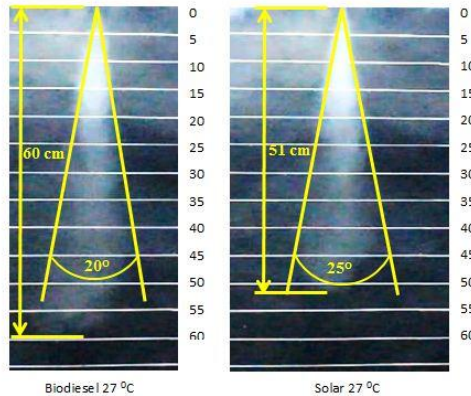
Pada bab ini akan dibahas mengenai proses karakterisasi semprotan biodiesel, dan analisa *properties* biodiesel dengan variasi temperatur pemanasan serta perhitungan-perhitungan yang diperlukan dalam penelitian, serta analisa grafik yang diperoleh dari perhitungan. Perhitungan yang dimaksud adalah perhitungan unjuk kerja mesin (daya, torsi, bmep, Sfc dan efisiensi termal). Adapun untuk data hasil penelitian seluruhnya bisa dilihat pada lampiran.

#### **4.1. Pengujian karakteristik semprotan injektor berbahan bakar solar dan biodiesel dengan variasi temperatur.**

Uji karakteristik semprotan dilakukan secara visual. Hasil dari visualisasi semprotan ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2. Gambar tersebut Menyatakan visualisasi semprotan bahan bakar pada tekanan injeksi 200 bar dengan kondisi udara ambient (1 bar). Hasil visualisasi semprotan bahan bakar pada Gambar 4.1. Menunjukkan bahwa untuk bahan bakar solar, penetrasi relatif lebih pendek dan sudut semprotan lebih besar dibandingkan biodiesel.

Pada Gambar 4.2. Menunjukan bahwa dengan kenaikan temperatur bahan bakar biodiesel menyebabkan perubahan karakteristik semprotan biodiesel dimana penetrasi semprotannya menjadi lebih pendek dan sudutnya lebih besar seiring dengan kenaikan temperatur biodiesel jika dibandingkan dengan biodiesel pada temperatur 27 °C (standar). Viskositas yang lebih rendah menyebabkan momentum aliran lebih kecil sehingga penetrasi semprotan menjadi lebih pendek. Sedangkan tegangan permukaan yang lebih kecil berperan dalam mempercepat butiran-butiran droplet bahan bakar untuk pecah menjadi butiran-butiran lebih kecil (*secondary break-up*) yang selanjutnya akan menyebar ke segala arah. Penyebaran ini menyebabkan permukaan kontak

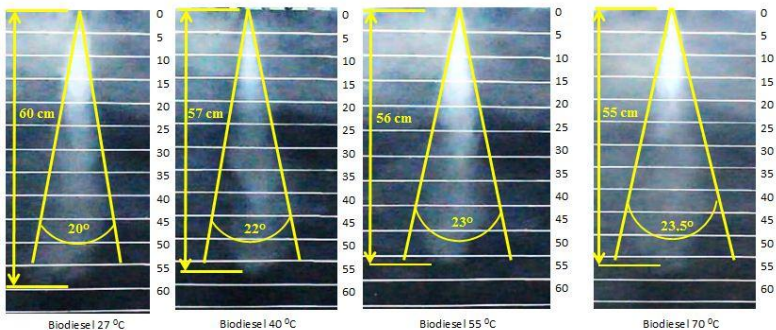
butiran droplet bahan bakar dengan udara lebih besar, sehingga penguapan yang terjadi akan lebih cepat [3].



Gambar 4.1. Visualisasi karakteristik semprotan injector bahan bakar solar dan biodiesel pada temperatur 27 °C

Berdasarkan Gambar 4.1 Hasil uji semprotan pada kondisi *ambient* (1 bar) yaitu :

- Panjang Penetrasi Biodiesel sebesar 60 cm dan sudut semprotan 20 °
- Panjang Penetrasi Solar sebesar 51cm dan sudut semprotan 25 °



Gambar 4.2 Visualisasi semprotan biodiesel dengan variasi temperatur 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C

Berdasarkan Gambar 4.2 Hasil uji semprotan pada kondisi *ambient* (1 bar) dengan variasi suhu yaitu :

- Temperatur 27 °C = Panjang Penetrasi 60 cm dan sudut semprotan 20 °
- Temperatur 40 °C = Panjang Penetrasi 57 cm dan sudut semprotan 22 °
- Temperatur 55 °C = Panjang Penetrasi 56 cm dan sudut semprotan 23 °
- Temperatur 70 °C = Panjang Penetrasi 55 cm dan sudut semprotan 23,5°

#### 4.2. Analisa Properties Biodiesel minyak sawit

Beberapa properties bahan bakar yang diamati antara lain meliputi: densitas, *viscositas*, tegangan permukaan, Spesifik graviti (SG) dan API graviti.

Perhitungan *Properties*

a. Perhitungan Densitas

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{W_1 - W_0}{\text{volume picnometer}} (g/ml)$$

- berat picnometer kosong ( $W_0$ ) = 15,72 gr
- berat picnometer yang sudah berisi sample ( $W_1$ ) = 37,39 gr
- volume picnometer = 25 ml

$$\rho = \frac{37,39 - 15,72}{25 \text{ ml}} (g/ml)$$

$$\rho = 0,866 \text{ g/ml}$$

$$\rho = 866 \text{ kg/m}^3$$

b. Perhitungan *Spesific Gravity* (SG)

$$SG_{bb} = \frac{\rho_{bb}}{\rho_{air}}$$



- Densitas ( $\rho_{bb}$ ) = 0,866 g/ml, atau 866 kg/m<sup>3</sup>
- $\rho_{air} = 999 \text{ kg/m}^3$

Maka :

$$SG B_{10} = \frac{866}{999}$$

$$SG B_{10} = 0.8668$$

c. Perhitungan API Gravity

Besarnya API Gravity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5$$

$$API = \frac{141,5}{0,866} - 131,5$$

$$API = 31,89$$

d. Perhitungan Tegangan permukaan

Tegangan permukaan  $\alpha$  dapat dihitung dengan rumus:

$$\alpha = \frac{Usaha}{Luas} = \frac{F}{l} = \frac{\Delta F}{\pi(d_1+d_2)} \text{ Newton/m}$$

Tabel 4.1 Hasil pengujian *properties* biodiesel *palm oil*

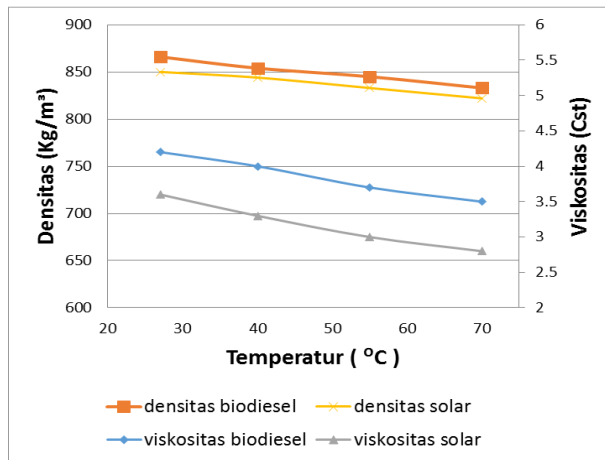
Temperatur	Viskositas (Cst)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Tegangan Permukaan (dyne/cm)
27 °C	4.2	866	71.4
40 °C	4	854	65.8
55 °C	3.7	845	64.9
70 °C	3.5	833	61.8

#### 4.2.1 Uji Massa Jenis dan Viskositas Kinematik Biodiesel dengan Variasi Temperatur

Hasil pengujian massa jenis dan viskositas minyak solar dan biodiesel tersaji pada Gambar 4.3. Yang mengilustrasikan pengaruh temperatur terhadap viskositas dan massa jenis biodiesel. Garis harisontal menunjukkan perubahan temperatur,

sedangkan garis vertikal kiri menunjukkan perubahan viskositas, dan garis vertikal kanan menunjukkan perubahan massa jenis.

Dari Gambar 4.3. Dapat disimpulkan bahwa massa jenis biodiesel dan solar menurun seiring dengan meningkatnya temperatur biodiesel dan solar, serta penurunan massa jenis solar lebih drastis dibandingkan dengan biodiesel. Pada temperatur yang sama, massa jenis biodiesel lebih tinggi daripada solar.



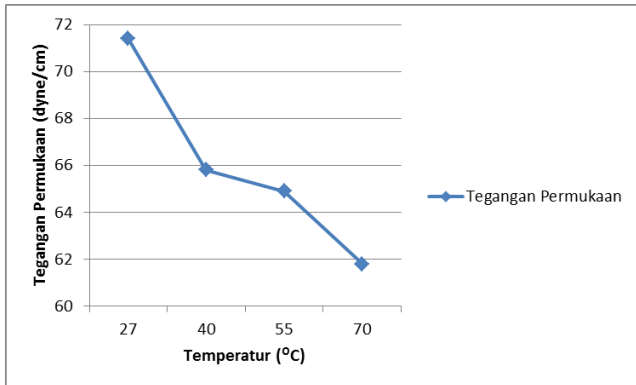
Gambar 4.3 Grafik Viskositas dan densitas terhadap temperatur

Peristiwa perubahan viskositas dapat dijelaskan dengan teori termodinamika yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur suatu fluida, molekul fluida akan bergerak cepat sehingga secara makro akan meningkatkan tekanan. Jika tidak terdapat batas pada materi tersebut maka materi akan mengembang dan memperlebar jarak antar molekulnya. Jarak antar molekul yang lebar akan mengakibatkan kerapatan (densitas) dan viskositas semakin menurun [15]

#### 4.2.2 Uji Tegangan Permukaan Dengan Variasi Temperatur

Tegangan Permukaan suatu zat cair didefinisikan sebagai gaya tiap satuan panjang. Jika pada suatu permukaan sepanjang  $l$

bekerja gaya sebesar  $F$  yang arahnya tegak lurus pada  $\ell$ , dan menyatakan tegangan permukaan. Pada umumnya nilai tegangan permukaan zat cair berkurang dengan adanya kenaikan suhu.



Gambar 4.4 Grafik tegangan permukaan terhadap temperatur

Gambar 4.4. Menunjukkan bahwa nilai tegangan permukaan biodiesel menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Menurunnya tegangan permukaan berperan dalam mempercepat butiran-butiran droplet bahan bakar untuk pecah menjadi butiran-butiran lebih kecil (*secondary break-up*) yang selanjutnya akan menyebar ke segala arah. Penyebaran ini menyebabkan permukaan kontak butiran droplet bahan bakar dengan udara lebih besar, sehingga penguapan yang terjadi akan lebih cepat [3]. Nilai tegangan permukaan biodiesel juga dipengaruhi oleh viskositas dan densitas cairan tersebut dimana semakin rendah viskositas dan densitasnya maka nilai tegangan permukaannya juga rendah.

### 4.3. Perhitungan Unjuk Kerja

Untuk memudahkan dalam menganalisa dan mengambil kesimpulan dilakukan perhitungan-perhitungan data hasil percobaan dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel dan

grafik. Berikut adalah contoh perhitungan yang diambil dari data percobaan menggunakan mesin standar tanpa pemanasan bahan bakar ( $27^{\circ}\text{C}$ ) pada beban 2500 Watt. Data-data yang diperoleh adalah :

- Bahan Bakar = Biodiesel
- Tegangan (V) = 220 Volt
- Arus (I) = 10,2 Ampere
- Waktu konsumsi  
25 ml bahan bakar (s) = 80 detik
- Putaran motor (n) = 2500 rpm

a. Perhitungan daya ( $N_e$ )

Dengan menggunakan persamaan daya engine maka daya motor ( $N_e$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$N_e = \frac{V \cdot i \cdot \cos \theta}{\eta_{gen} \cdot \eta_{trans.}} \quad (Watt)$$

$$N_e = \frac{220 \cdot 10,2 \cdot 1}{\eta_{gen} \cdot \eta_{trans.}} \quad (Watt)$$

$$N_e = 2624,5 \text{ Watt}$$

b. Perhitungan torsi (T)

Dengan menggunakan persamaan engine di atas, maka daya motor dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_t = \frac{60 \cdot N_e}{n \cdot 2} \quad (Nm)$$

$$M_t = \frac{60 \cdot 2624,5}{2000 \cdot 2} \quad (Nm)$$

$$M_t = 39,36 \quad (Nm)$$

c. Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (bmep)

Dengan menggunakan persamaan engine di atas, maka tekanan efektif rata-rata (bmep) dapat dihitung sebagai berikut :

$$bmep = \frac{60 \text{ Ne} \cdot z}{A \cdot l \cdot n \cdot i} \text{ (KPa)}$$

Ket :

$$\begin{aligned} Z &= 2 \text{ (motor 4 langkah)} \\ A.L &= \text{volume silinder (V)} \\ A.L &= 0,411 \text{ m}^3 \\ i &= 1 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} bmep &= \frac{60 \cdot 2624,5 \cdot 2}{0,411 \cdot 2000 \cdot 1} \text{ (KPa)} \\ bmep &= 382,31 \text{ (KPa)} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Dengan menggunakan persamaan engine di atas, pemakaian bahan bakar spesifik (sfc) dapat dihitung sebagai berikut :

$$sfc = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{bb}}{Ne} \text{ (kg/hp.jam)}$$

Ket :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{bb} &= \frac{m_{bb}}{s} \text{ (kg/detik)} \\ \bullet \quad m_{bb} &= \rho_{bb} \cdot V \\ \bullet \quad \rho_{bb} &= 0,86 \text{ kg/l} \\ \bullet \quad V &= 25 \text{ ml} = 0,025 \text{ Liter} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} m_{bb} &= \rho_{bb} \cdot V \\ &= 0,86 \times 0,025 \\ &= 0,0214 \text{ kg} \\ \dot{m}_{bb} &= \frac{m_{bb}}{s} \text{ (kg/detik)} \\ \dot{m}_{bb} &= \frac{0,0214}{80} \text{ (kg/detik)} \\ \dot{m}_{bb} &= 0,000268 \text{ (kg/detik)} \end{aligned}$$

Maka besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$sfc = \frac{3600.0,000268}{2,6245} \quad (kg/HP.jam)$$

$$sfc = 0,368 \quad (kg/HP.jam)$$

e. Perhitungan efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ )

Dengan menggunakan persamaan engine di atas, efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m}_{bb} \times NKB_{bb}} \times 100\%$$

Ket :

NKB = nilai kalor bawah = LHV = 37144 kg/kJ

Maka :

$$\eta_{th} = \frac{2,6245}{0,000268 \times 37144} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 26,36 \%$$

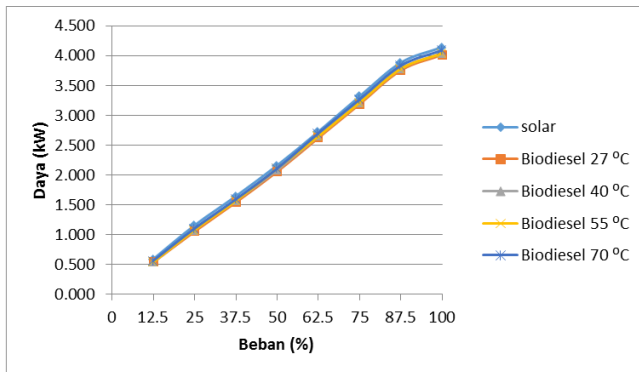
#### 4.4 Analisa Unjuk Kerja

a. Analisa Daya

Daya merupakan kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja tiap satuan waktu yang dinyatakan dalam kilowatt (kW). Daya ini digunakan untuk mengatasi beban yang diterima motor, unit generator-set bekerja dengan menghasilkan tegangan listrik dimana putaran generator harus dijaga konstan pada 2000 rpm untuk mendapatkan tegangan listrik yang stabil pada besaran 220 V. Gambar 4.3 di bawah ini merupakan grafik nilai daya fungsi beban, pada penggunaan bahan bakar solar (tanpa pemanasan) serta biodiesel dengan variasi temperatur 27<sup>0</sup>C, 40 <sup>0</sup>C, 55 <sup>0</sup>C dan 70<sup>0</sup>C.

Grafik nilai daya terhadap beban di bawah mempunyai *trend* nilai daya naik seiring dengan meningkatnya nilai beban yang diterima. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya beban listrik maka jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam

ruang bakar akan lebih banyak untuk menjaga putaran *engine* konstan, karena pada saat beban listrik ditambah maka beban putaran generator bertambah berat dan putaran *engine* turun. Putaran tersebut dinaikkan kembali, dengan melakukan kontrol pada jumlah bahan bakar minyak biodiesel yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar melalui mekanisme pada pompa injeksi minyak biodiesel yang diatur oleh *governor*.



Gambar 4.5. Grafik Daya Terhadap Beban

Bahan bakar solar memiliki nilai daya yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. Viskositas yang lebih tinggi dibandingkan solar membuat atomisasi biodiesel kurang baik. Akibatnya pembakaran menjadi kurang sempurna di ruang bakar. Dengan pemanasan biodiesel nilai daya meningkat seiring kenaikan temperatur pemanasan, dimana terdapat kenaikan nilai daya sebesar 1,92% yang dicapai pada temperatur pemanasan biodiesel 70 °C dengan pembebanan 100% dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan biodiesel temperatur 27 °C (standar) pada beban dan putaran mesin yang sama. Dikarnakan kenaikan temperatur biodiesel, nilai viskositas semakin turun maka hasilnya semakin baik karena droplet yang disemprotkan semakin halus dan atomisasi semakin baik sehingga

pembakaran menjadi sempurna dan nilai daya mengalami kenaikan.

Berdasarkan grafik daya fungsi beban yang terlihat, besarnya nilai daya yang diperlukan akan naik dengan bertambahnya beban listrik yang diberikan sebagai kompensasi bertambahnya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar.

Secara perumusan dibawah ini:

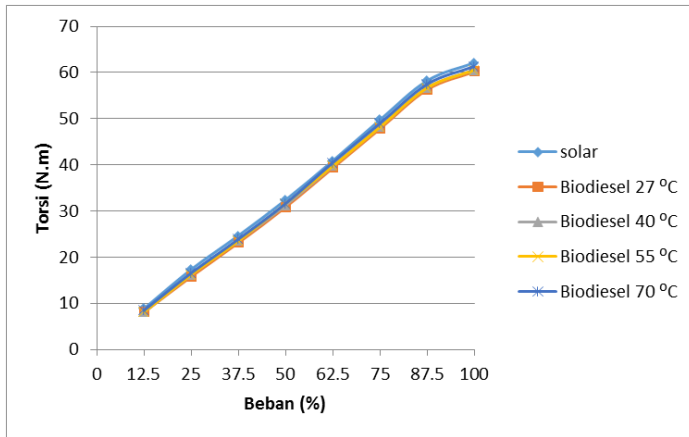
$$Ne = \frac{V.I.\cos\varphi}{\eta_{gen} \cdot \eta_{transmisi}} \cdot 1000 \quad (KW)$$

Dari perumusan diatas, apabila nilai V (tegangan),  $\cos \varphi$ ,  $\eta_{gen}$  dan  $\eta_{transmisi}$  bernilai tetap maka nilai Ne akan sebanding dengan nilai I (arus listrik). Hal ini menunjukkan bahwa dengan nilai V (tegangan),  $\cos \varphi$ ,  $\eta_{gen}$  dan  $\eta_{transmisi}$  yang tetap maka dengan semakin bertambahnya beban yang diberikan akan menyebabkan tingginya arus listrik (I) yang dibutuhkan, sehingga daya yang diperlukan juga akan naik. Idealnya untuk putaran mesin konstan daya akan sebanding dengan bertambahnya beban.

#### b. Analisa Torsi

Torsi merupakan kemampuan mesin untuk mengatasi pembebanan. Berdasarkan Gambar 4.6. Terlihat bahwa nilai torsi naik seiring dengan bertambahnya beban. Hal ini disebabkan dengan penambahan beban maka terjadi penambahan konsumsi bahan bakar pada mesin. Penambahan bahan bakar tersebut dimaksudkan untuk mengatasi beban dan menjaga putaran mesin tetap konstan, sehingga pembakaran yang terjadi lebih besar. Energi kalor bahan bakar yang diubah menjadi energi mekanik juga bertambah besar, yang merupakan wujud gaya dorong pada piston. Bila gaya dorong pada piston besar, maka torsi juga akan besar.





Gambar 4.6. Grafik Torsi Terhadap Beban

Grafik torsi mesin fungsi beban listrik ini memiliki karakteristik yang sama dengan grafik daya efektif, yaitu nilai torsi meningkat seiring dengan meningkatnya beban yang diterima mesin. Pada pengujian kali ini putaran mesin berputar secara stasioner pada 2000 rpm, maka perubahan nilai torsi bergantung variasi daya efektif yang pada akhirnya bentuk grafik tersebut ditunjukkan oleh grafik daya efektif fungsi beban listrik.

Pada grafik ini didapatkan sedikit perbedaan yang tidak signifikan antara nilai torsi dengan bahan bakar solar dan biodiesel, hal ini dikarenakan perubahan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator juga relatif kecil karena putaran mesin yang dijaga konstan di putaran 2000 rpm dengan melakukan control pada pemasukan bahan bakar biodiesel menggunakan mekanisme *governor*. Namun dengan kenaikan temperatur biodiesel membuat nilai torsi sedikit meningkat, dimana terdapat kenaikan nilai torsi biodiesel sebesar 1,92% yang dicapai pada temperatur pemanasan 70 °C dengan pembebanan 100% dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan temperatur biodiesel 27 °C (standar) dengan pembebanan dan putaran konstan yang sama.

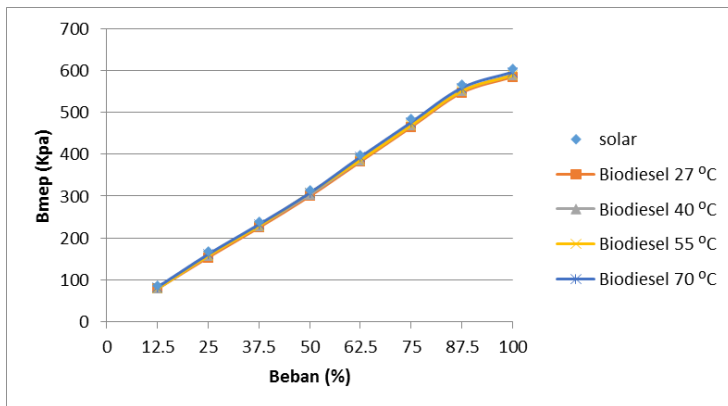
Secara perumusan berikut ini:

$$M_t = \frac{60.Ne}{2.n} \quad (N.m)$$

Besarnya nilai torsi bergantung pada nilai daya ( $Ne$ ) dan putaran mesin ( $n$ ). Dalam pengujian penelitian ini, putaran mesin dijaga konstan sehingga perubahan nilai torsi bergantung pada variasi besarnya nilai daya mesin dan pada akhirnya bentuk grafik yang ditunjukkan kurang lebih sama dengan bentuk grafik yang ditunjukkan oleh grafik daya fungsi beban listrik, semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar.

### c. Analisa Tekanan Efektif Rata-Rata (bmep)

Tekanan efektif rata-rata merupakan tekanan tetap teoritis yang bekerja sepanjang langkah volume piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. Dari gambar 4.7. Dibawah terlihat bahwa besar bmep naik seiring dengan penambahan beban, hal ini disebabkan injeksi bahan bakar kedalam ruang bakar yang semakin besar, sehingga pembakaran yang terjadi semakin besar, yang merupakan kompensasi untuk menjaga putaran engine konstan.



Gambar 4.7. Grafik Bmep Terhadap Beban

Dari grafik bmep fungsi beban diatas juga terlihat nilai *bmep* untuk semua pengujian bahan bakar solar dan biodiesel dengan atau tanpa pemanasan pada putaran konstan 2000 rpm dan pembebanan yang sama, nilai bmep tidak berbeda jauh. Kenaikan temperatur biodiesel membuat nilai torsi dari pengujian biodiesel sedikit meningkat, dimana terdapat kenaikan nilai torsi biodiesel sebesar 1,92% yang dicapai pada temperatur pemanasan 70 °C pada pembebanan 100% dengan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan temperatur biodiesel 27 °C (standar) dengan beban dan putaran yang sama. Hal ini sesuai dengan perumusan *bmep*. Nilai *bmep* didapat melalui persamaan:

$$bmep = \frac{60 \cdot Ne \cdot z}{A \cdot l \cdot n \cdot i} \text{ (KPa)}$$

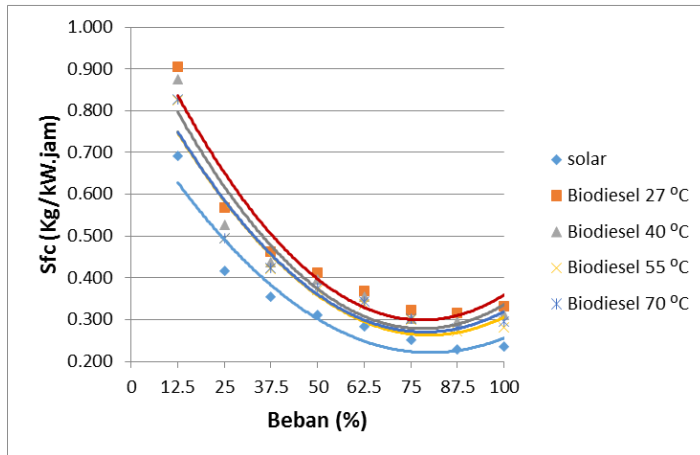
Berdasarkan perumusan di atas dapat dilihat bahwa variabel yang mempengaruhi perubahan nilai bmep adalah daya mesin (*Ne*), sementara variabel yang lain bernilai konstan termasuk putaran mesin (*n*). Sehingga pada semua pengujian, nilai *Ne* untuk beban yang sama akan mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda selama putaran mesin konstan.

Besar nilai antara daya, torsi, dan tekanan efektif mempunyai trend grafik yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh governor yang ada pada mesin diesel, yang mana fungsi dari governor itu adalah sebagai pengontrol sumber energi ke penggerak utama untuk mengontrol daya. Sehingga apabila putaran pada mesin diesel dijaga konstan kemudian beban ditambahkan maka yang akan terjadi adalah nilai dari daya, torsi dan tekanan efektif rata-rata mengalami kenaikan.

#### d. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) adalah ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan

waktu per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Sfc merupakan representasi keefektifan engine dalam mengkonsumsi bahan bakar.



Gambar 4.8. Grafik Sfc Terhadap Beban

Persamaan  $sfc$  secara umum sebagai berikut:

$$sfc = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{Ne} \text{ (kg/kW.jam)}$$

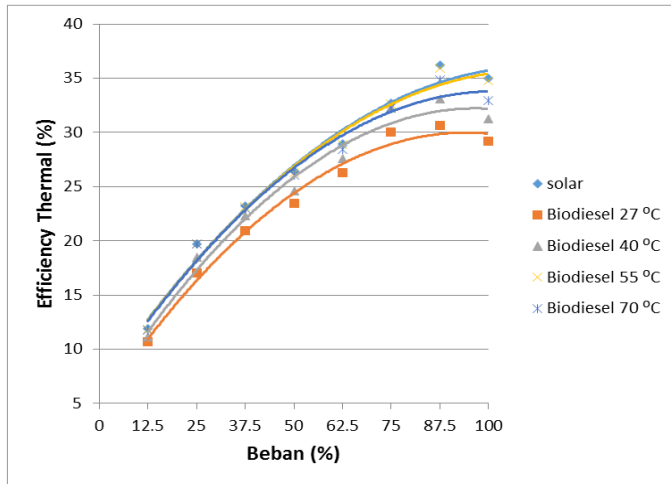
Gambar 4.8. Menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban, pemakaian bahan bakar spesifik cenderung menurun. Penyebab fenomena tersebut adalah campuran bahan bakar dan udara yang terlalu miskin, sehingga untuk menghasilkan daya 1 Watt dalam 1 jam membutuhkan lebih banyak bahan bakar. Seiring dengan bertambahnya beban serta peningkatan daya, engine semakin efektif dalam mengkonsumsi bahan bakar.

Gambar 4.8. Juga menjelaskan bahwa perubahan temperatur biodiesel akan menurunkan Sfc (*specific fuel*

*consumption*). Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa penurunan ini disebabkan oleh pemanasan biodiesel yang mengakibatkan kekentalan/ viskositas biodiesel akan menurun sehingga saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus, dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen sehingga bahan bakar akan lebih mudah terbakar dan menyebabkan persentase bahan bakar yang terbakar akan meningkat. Dengan semakin besarnya jumlah bahan bakar yang terbakar maka peningkatan tekanan yang terjadi dalam ruang bakar akibat pembakaran akan membesar yang pada akhirnya akan meningkatkan daya yang dihasilkan oleh motor bakar. Sehingga dengan beban yang sama konsumsi bahan bakar akan berkurang. Bahwa penurunan konsumsi dan Sfc bahan bakar hanya terjadi sampai biodiesel mencapai temperatur 55 °C pada pembebanan 87,5% dengan putaran konstan 2000 rpm yakni dengan presentase penurunan sebesar 14,8 % jika dibandingkan nilai Sfc biodiesel pada temperatur 27 °C (standar) pada pembebanan dan putaran mesin yang sama, selebihnya bila biodiesel terus dinaikkan temperaturnya maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan motor akan lebih besar jika dibandingkan dengan saat menggunakan biodiesel yang bertemperatur 55 °C. Peningkatan ini dapat terjadi karena dengan meningkatnya temperatur biodiesel akan menyebabkan biodiesel menjadi lebih mudah terbakar sehingga akan mempersingkat periode persiapan pembakaran (*ignition delay*). maka periode pembakaran cepat akan terjadi jauh sebelum piston mencapai TMA (pada langkah kompresi) sehingga tekanan puncak juga terjadi saat piston belum mencapai TMA dan ini merupakan kerugian karena tekanan tersebut seharusnya digunakan untuk langkah kerja. Dengan demikian daya yang dihasilkan akan berkurang dan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik.

e. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ).

Efisiensi thermal ( $\eta_{th}$ ) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada motor. Efisiensi thermal mengindikasikan besarnya pengubahan energi kalor menjadi energi mekanik atau gerak.



Gambar 4.9 Grafik Effisiensi Thermal terhadap beban

Gambar 4.9 Menunjukkan terjadinya peningkatan efisiensi thermal dengan bertambahnya beban. Pada beban rendah, efisiensi thermal engine bernilai rendah, hal ini terjadi akibat campuran udara bahan bakar yang miskin sehingga pembakaran yang terjadi kurang baik, sehingga pemanfaatan energi bahan bakar yang belum optimal. Seiring dengan naiknya pembebanan, pemanfaatan energi yang semakin baik, sehingga proses pembakaran semakin optimal yang berdampak pada efisiensi thermal pada engine yang naik.

Rumuaan efisiensi *thermal* sebagai berikut :

$$\text{efisiensi } thermal = \frac{N_e}{\left( m_{bb} \times NKB_{bb} \right)} \times 100\%$$

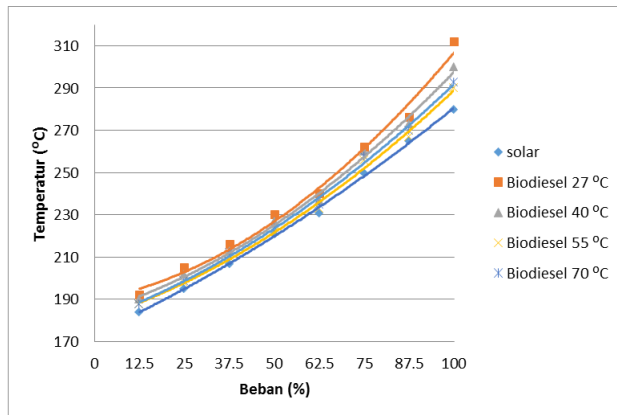
Grafik tersebut memperlihatkan bahwa dengan berubahnya temperatur bahan bakar maka efisiensi termal mesin diesel berubah. Demikian juga efisiensi termal akan naik bila temperatur bahan bakar dinaikan. Kenaikan ini disebabkan karena bertambahnya temperatur akan mengakibatkan viskositas bahan bakar menurun sehingga saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut yang lebih halus yang mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna. Pembakaran sempurna akan meningkatkan panas yang ditimbulkan di dalam ruang bakar. Peningkatan panas ini dapat memperbesar tekanan di dalam ruang bakar mesin. Dengan demikian efisiensi termal mesin diesel akan meningkat. Pada saat motor beroperasi pada beban rendah, maka daya poros yang dihasilkan juga masih kecil karena sebagian tenaga diberikan pada peralatan penunjang seperti pompa injeksi dan poros nok penggerak katup. Pada akhirnya konsumsi bahan bakar spesifik akan meningkatkan. Pada saat beban cukup tinggi maka daya yang dihasilkan pada poros semakin tinggi, sedangkan besarnya beban peralatan penunjang tetap konstan. Dengan demikian, konsumsi bahan bakar spesifik tidak terlalu berpengaruh.

Dengan kenaikan temperatur biodiesel, nilai efisiensi termis mengalami kenaikan sebesar 17,36% yang dicapai pada temperatur pemanasan 55 °C pada pembebanan 87,5 % dengan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan temperature pemanasan biodiesel 27 °C (standar) dengan pembebanan dan putaran mesin yang sama. Sedangkan jika temperatur bahan bakar terus dinaikan (>55 °C) maka bahan bakar akan lebih cepat mencapai kondisi penyalaan sendiri, sehingga periode persiapan pembakaran akan semakin singkat. Apabila periode pembakaran

terlalu singkat, maka periode pembakaran akan terjadi jauh sebelum piston mencapai TMA (pada langkah kompresi) sehingga tekanan puncak juga terjadi saat piston belum mencapai TMA. Akibatnya, daya mesin berkurang dan konsumsi bahan bakar meningkat. Peningkatan konsumsi bahan bakar akan menurunkan efisiensi termal mesin.

#### f. Analisa Temperatur *Exhaust*

Gambar 4.10. Menunjukkan seiring bertambahnya beban, temperatur gas buang cenderung naik. Kenaikan ini disebabkan dengan bertambahnya jumlah kebutuhan bahan bakar untuk meningkatkan daya yang bertujuan kompensasi dari kenaikan beban. Volume bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar semakin banyak sehingga pembakaran yang terjadi akan semakin besar, sehingga temperatur gas buang ikut meningkat.



Gambar 4.10. Grafik Temperatur *Exhaust* Terhadap Beban

Gambar 4.10. Menunjukkan bahwa terjadi peningkatan temperatur exhaust pada variasi kenaikan beban. Hal itu disebabkan jumlah bahan bakar yang disemprotkan lebih besar



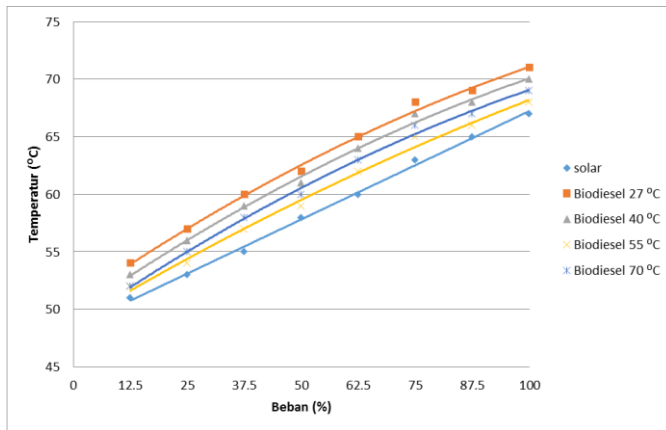
tetapi tidak terbakar semua di ruang bakar, sehingga dimungkinkan terjadi pembakaran di luar ruang bakar. Dimana temperatur *exhaust* saat menggunakan biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan solar karna pembakaran solar lebih baik daripada biodiesel. Sedangkan dengan kenaikan temperatur biodiesel, temperatur *exhaust* relatif menurun jika dibandingkan biodiesel 27 °C (tanpa pemanasan). Untuk temperatur *exhaust* terendah dengan bahan bakar biodiesel dicapai pada pemakaian biodiesel bertemperatur 55 °C. Hal tersebut sesuai dengan korelasi antara efisiensi termal terhadap temperatur operasional, dimana semakin besar efisiensi termal maka panas pembakaran yang dilepaskan ke *exhaust* akan semakin rendah.

#### g. Analisa Temperatur Engine, Oli Pelumas dan Pendingin

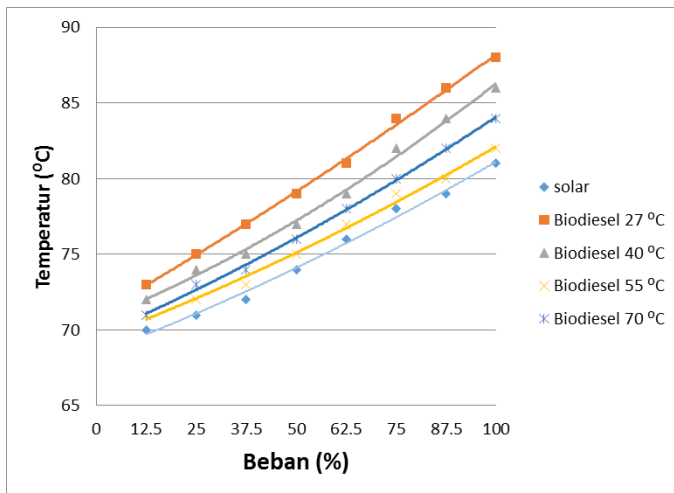
Temperatur operasional dari engine, cairan pendingin, dan oli mesin berhubungan dengan efisiensi termal. Pada dasarnya jika terjadi pembakaran yang lebih baik maka akan menghasilkan kenaikan tekanan dan temperatur, hal tersebut menjelaskan bahwa pembakaran yang lebih baik akan menghasilkan efisiensi termal lebih tinggi. Oleh karna itu semakin tinggi efisiensi termal maka panas yang dilepaskan ke engine, cairan pendingin dan oli mesin akan semakin rendah.

Gambar 4.11. s/d 4.13. Menunjukkan bahwa seiring bertambahnya beban maka temperatur *engine*, oli dan cairan pendingin cenderung naik. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya beban maka jumlah bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar akan semakin banyak, sehingga panas pembakaran yang dilepas ke dinding silinder *Engine*, Oli pelumas dan cairan pendingin juga mengalami peningkatan meskipun tidak signifikan. Temperatur *engine*, oli pelumas, dan cairan pendingin lebih tinggi ketika menggunakan Biodiesel jika dibandingkan saat menggunakan solar, hal ini dikarenakan pembakaran solar lebih baik dari biodiesel sehingga temperatur operasionalnya pun lebih rendah. Sedangkan dengan kenaikan temperatur biodiesel, temperatur operasionalnya relatif mengalami penurunan jika

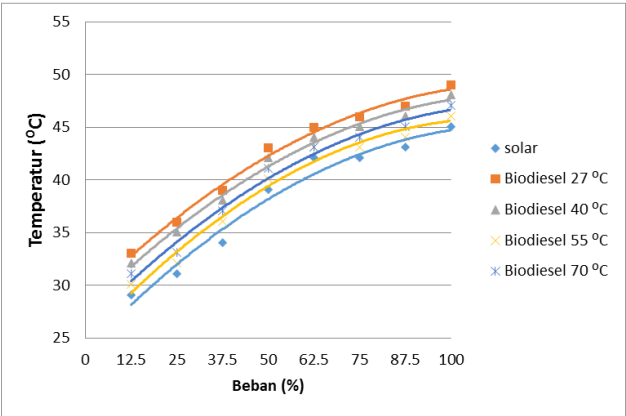
dibandingkan dengan kondisi biodiesel 27 °C. Dimana temperatur mesin, pendingin, dan oli terendah dicapai saat menggunakan biodiesel bertemperatur 55 °C.



Gambar 4.11 Grafik Temperatur *Engine* Terhadap Beban



Gambar 4.12 Grafik Temperatur Oli Terhadap Beban



Gambar 4.13 Grafik Temperatur Cairan Pendingin Terhadap Beban

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kenaikan temperatur biodiesel dapat memperbaiki karakteristik semprotan bahan bakar berupa panjang penetrasi semprotan yang semakin pendek dan sudut yang lebih besar jika dibandingkan dengan semprotan biodiesel pada temperatur 27 °C (standar).
- b. Dengan kenaikan temperatur biodiesel terdapat penurunan nilai viskositas, densitas dan tegangan permukaan dengan variasi temperatur 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C viskositasnya 4,2 Cst, 4 Cst, 3,7 Cst, dan 3,5 Cst. kemudian densitasnya 866 kg/m<sup>3</sup>, 854 kg/m<sup>3</sup>, 845 kg/m<sup>3</sup>, dan 833 kg/m<sup>3</sup>, dan untuk tegangan permukaan adalah 71,4 dyne/cm, 65,8 dyne/cm, 64,9 dyne/cm, dan 61,8 dyne/cm.
- c. Kenaikan Temperatur biodiesel memberikan pengaruh terbesar pada perubahan Sfc dan efisiensi termal mesin sedangkan untuk nilai daya, torsi dan bmep pengaruhnya tidak signifikan.
- d. Dengan kenaikan temperatur biodiesel, nilai Sfc mengalami penurunan rata-rata sebesar 14,8% yang dicapai pada temperatur pemanasan 55 °C dengan pembeban 87,5 % (3500 watt) dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan biodiesel standar 27 °C pada pembebanan dan putaran konstan yang sama.
- e. Dengan kenaikan temperatur biodiesel, nilai *efficiency thermal* mengalami kenaikan sebesar 17,3 % yang dicapai pada temperatur pemanasan 55 °C dengan

pembebanan 87,5% (3500 watt) dan putaran mesin 2000 rpm jika dibandingkan dengan biodiesel standar 27 °C pada pembebanan dan putaran mesin yang sama.

- f. Temperatur pemanasan bahan bakar biodiesel yang ideal untuk mesin diesel diamond tipe Di800 1 silinder direct injection putaran konstan 2000 rpm adalah 55 °C.

## 5.2. Saran

Adapun saran dari pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang efek yang ditimbulkan pada bagian – bagian yang berhubungan dengan pembakaran, seperti : piston, silinder liner, kepala silinder, nosel dan pompa nosel.
- b. Alat pemanas bahan bakar yang digunakan masih bersifat eksperimental, sehingga perlu dilakukan penelitian dan perancangan alat pemanas bahan bakar yang lebih baik dan dapat menjaga kestabilan dari performa mesin yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hambali, Erliza. 2007. Jarak pagar tanaman penghasil biodiesel. Cetakan keempat, Jakarta: Penebar Swadaya.
- [2] Knothe, Gerhard. 2004. *The biodiesel Handbook*. AOCS Press. Illinois
- [3] Sudarmanta, Bambang. Sungkono, Djoko. 2009. Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel. Surabaya : ITS Surabaya.
- [4] Suhardjianto, S. Okie. 2008. Pengaruh Penambahan Pemanas Bahan Bakar Pada Unjuk Kerja Motor Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Biodiesel. Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- [5] Murni. 2012. Pengaruh Temperatur Solar Terhadap Performa Mesin Diesel Direct Injection Putaran Konstan. Semarang : D3 Tenik Sipil-UNDIP.
- [6] Kawano, D. Sungkono. 2011. Motor Bakar Torak (Diesel). Surabaya : ITS Press.
- [7] Darmanto. 2006. Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel. Semarang : UNIMUS.
- [8] Demirbas, Ayhan. 2008. *Progress and recent trends in biodiesel fuels*. Turkey : Sila Science.
- [9] Suhartanta. Arifin, Zainal. 2008. Pemanfaatan Minyak Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- [10] Chen, Hao., Guo, Qi., & Zhao, Xu-yi. 2015. *Influence Of Fuel Temperature On Combustion And Emission Of Biodiesel*. China : Chang'an University.
- [11] Mescha, Destiana. Zandy, Agustinus. Nazef. Puspasari, Soraya. 2007. *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Lomba Karya Ilmiah Mahasiswa ITB Bidang Energi Penghargaan PT. Rekayasa Energi. ITB dan P.T Rekayasa Energi.

- [12] Sazhin, S.S., Abdelghaffar, W.A., Sazhina, E.M., Heikal, M.R. 2005. Models for droplet transient heating: effects on droplet evaporation, ignition, and break-up, *Int. J Thermal Science*, 44, 610-622.
- [13] Heywood, j. B., 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, Toronto, 517-550.
- [14] Warnatz, J. Maas, U. Dibble, R.W. 2006. *Combustion*. Heidelberg, Karlsruhe, Berkeley.
- [15] Annamalai, K., Iswar, K., Puri. 2002. *Advanced Thermodynamics Engineering*. Washington DC : CRC Press.
- [16] Fazzry, Burhan., Nugroho, Agung. 2016. *Pengaruh Temperatur Pada Campuran Minyak Kelapa dan Bahan Bakar Solar Terhadap Sudut Injeksi*. Malang : Universitas Gajayana Malang.

## LAMPIRAN 1

### ❖ Data Solar 27 °C

No	presentase beban	beban (watt)	Putaran (n)	Voltage (v)	Ampere (a)	Waktu Konsunsi (25ml) sec	Temperatur (°C)			
							Pelumas	Gas Buang	engine	Pendingin
1	12.5%	500	2000	220	2.3	185	70	184	51	29
2	25%	1000	2000	220	4.5	157	71	195	53	31
3	37.50%	1500	2000	220	6.4	130	72	207	55	34
4	50%	2000	2000	220	8.4	113	74	221	58	39
5	62.50%	2500	2000	220	10.6	98	76	231	60	42
6	75%	3000	2000	220	12.9	91	78	250	63	42
7	87.50%	3500	2000	220	15.1	86	79	265	65	43
8	100%	4000	2000	220	16.1	78	81	280	67	45

No	presentase beban	Ne	Ne	Mt	Bmcp	Sfc	Eff	eff generator %	eff Transmisi	m Solar (kg)	Sg solar	mdot solar (kg/s)	NKB (kg/kJ)
		Watt	Kw	N.m	Kpa	Kg/kW.jam	%						
1	12.5%	591.81	0.59	8.877	86.212	0.690	11.867	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00011340	43979
2	25%	1157.89	1.16	17.368	168.675	0.415	19.703	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00013362	43979
3	37.50%	1646.78	1.65	24.702	239.894	0.353	23.203	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00016138	43979
4	50%	2161.40	2.16	32.421	314.861	0.309	26.472	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00018565	43979
5	62.50%	2727.49	2.73	40.912	397.324	0.283	28.971	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00021407	43979
6	75%	3319.30	3.32	49.789	483.536	0.250	32.738	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00023054	43979
7	87.50%	3885.38	3.89	58.281	566.000	0.226	36.216	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00024394	43979
8	100%	4142.69	4.14	62.140	603.483	0.234	35.022	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00026896	43979



## ❖ Data Biodiesel 27 °C

No	presentase beban	beban (watt)	Putaran (n)	Voltage (v)	Ampere (a)	Waktu Konsumsi (25ml) sec	Temperatur (°C)			
							Pelumas	Gas Buang	engine	Pendingin
1	12.5%	500	2000	220	2.1	158	73	192	54	33
2	25%	1000	2000	220	4.1	129	75	205	57	36
3	37.50%	1500	2000	220	6	108	77	216	60	39
4	50%	2000	2000	220	8	91	79	230	62	43
5	62.50%	2500	2000	220	10.2	80	81	240	65	45
6	75%	3000	2000	220	12.4	75	84	262	68	46
7	87.50%	3500	2000	220	14.6	65	86	276	69	47
8	100%	4000	2000	220	15.6	58	88	312	71	49

No	presentase beban	Ne	Ne	Mt	Bmep	Sfc	Eff	eff generator %	eff Transmisi	m bio (kg)	Sg bio	mdot bio (kg/s)	NKB (kg/kJ)
		Watt	Kw	N.m	Kpa	Kg/kW.jam	%						
1	12.5%	540.35	0.540	8.105	78.715	0.906	10.701	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00013594	37144
2	25%	1054.97	1.055	15.825	153.682	0.568	17.058	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00016650	37144
3	37.50%	1543.86	1.544	23.158	224.900	0.464	20.900	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00019888	37144
4	50%	2058.48	2.058	30.877	299.867	0.413	23.480	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00023603	37144
5	62.50%	2624.56	2.625	39.368	382.331	0.368	26.318	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00026848	37144
6	75%	3190.64	3.191	47.860	464.794	0.323	29.995	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00028638	37144
7	87.50%	3756.73	3.757	56.351	547.258	0.317	30.608	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00033044	37144
8	100%	4014.04	4.014	60.211	584.741	0.332	29.182	0.9	0.95	0.0214785	0.86	0.00037032	37144

## ❖ Data Biodiesel 40 °C

No	presentase beban	beban (watt)	Putaran (n)	Voltage (v)	Ampere (a)	Waktu Konsumsi (25ml) sec	Temperatur (°C)			
							Pelumas	Gas Buang	engine	Pendingin
1	12.5%	500	2000	220	2.1	162	72	190	53	32
2	25%	1000	2000	220	4.2	135	74	202	56	35
3	37.50%	1500	2000	220	6.1	112	75	213	59	38
4	50%	2000	2000	220	8.1	93	77	227	61	42
5	62.50%	2500	2000	220	10.3	82	79	237	64	44
6	75%	3000	2000	220	12.5	79	82	260	67	45
7	87.50%	3500	2000	220	14.7	69	84	273	68	46
8	100%	4000	2000	220	15.7	61	86	300	70	48

No	presentase beban	Ne	Ne	Mt	Bmep	Sfc	Eff	eff generator %	eff Transmisi	m bio (kg)	Sg bio	mdot bio (kg/s)	NKB (kg/kJ)
		Watt	Kw	N.m	Kpa	Kg/kW.jam	%						
1	12.5%	540.35	0.540	8.105	78.715	0.873	11.101	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00013104	37144
2	25%	1080.70	1.081	16.211	157.430	0.524	18.502	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00015725	37144
3	37.50%	1569.59	1.570	23.544	228.649	0.435	22.294	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00018954	37144
4	50%	2084.21	2.084	31.263	303.616	0.394	24.582	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00022827	37144
5	62.50%	2650.29	2.650	39.754	386.079	0.352	27.561	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00025889	37144
6	75%	3216.37	3.216	48.246	468.543	0.301	32.224	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00026872	37144
7	87.50%	3782.46	3.782	56.737	551.006	0.293	33.099	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00030766	37144
8	100%	4039.77	4.040	60.596	588.490	0.310	31.252	0.9	0.95	0.0212288	0.85	0.00034801	37144

## ❖ Data Biodiesel 55 °C

No	presentase beban	beban (watt)	Putaran (n)	Voltage (v)	Ampere (a)	Waktu Konsumsi (25ml) sec	Temperatur (°C)			
							Pelumas	Gas Buang	engine	Pendingin
1	12.5%	500	2000	220	2.1	170	71	188	52	30
2	25%	1000	2000	220	4.2	142	72	198	54	32
3	37.50%	1500	2000	220	6.1	115	73	210	57	36
4	50%	2000	2000	220	8.2	97	75	222	59	40
5	62.50%	2500	2000	220	10.3	85	77	233	62	43
6	75%	3000	2000	220	12.5	79	79	256	65	43
7	87.50%	3500	2000	220	14.7	74	80	267	66	44
8	100%	4000	2000	220	15.7	67	82	290	68	46

No	presentase beban	Ne	Ne	Mt	Bmep	Sfc	Eff	eff generator %	eff Transmisi	m bio (kg)	Sg bio	mdot bio (kg/s)	NKB (kg/kJ)
		Watt	Kw	N.m	Kpa	Kg/kW.jam	%						
1	12.5%	540.35	0.540	8.105	78.715	0.822	11.788	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00012341	37144
2	25%	1080.70	1.081	16.211	157.430	0.492	19.693	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00014774	37144
3	37.50%	1569.59	1.570	23.544	228.649	0.418	23.164	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00018243	37144
4	50%	2109.94	2.110	31.649	307.364	0.369	26.264	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00021628	37144
5	62.50%	2650.29	2.650	39.754	386.079	0.335	28.909	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00024681	37144
6	75%	3216.37	3.216	48.246	468.543	0.297	32.608	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00026556	37144
7	87.50%	3782.46	3.782	56.737	551.006	0.270	35.920	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00028350	37144
8	100%	4039.77	4.040	60.596	588.490	0.279	34.734	0.9	0.95	0.0209790	0.84	0.00031312	37144

## ❖ Data Biodiesel 70 °C

No	presentase beban	beban (watt)	Putaran (n)	Voltage (v)	Ampere (a)	Waktu Konsumsi (25ml) sec	Temperatur (°C)			
							Pelumas	Gas Buang	engine	Pendingin
1	12.5%	500	2000	220	2.2	160	71	188	52	31
2	25%	1000	2000	220	4.3	137	73	199	55	33
3	37.50%	1500	2000	220	6.2	111	74	212	58	37
4	50%	2000	2000	220	8.2	95	76	224	60	41
5	62.50%	2500	2000	220	10.5	81	78	235	63	43
6	75%	3000	2000	220	12.7	76	80	258	66	44
7	87.50%	3500	2000	220	14.9	70	82	270	67	45
8	100%	4000	2000	220	15.9	62	84	293	69	47

No	presentase beban	Ne	Ne	Mt	Bmep	Sfc	Eif	eff generator %	eff Transmisi	m bio (kg)	Sg bio	mdot bio (kg/s)	NKB (kg/kJ)
		Watt	Kw	N.m	Kpa	Kg/kW.jam	%						
1	12.5%	566.08	0.566	8.491	82.464	0.824	11.763	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00012956	37144
2	25%	1106.43	1.106	16.596	161.179	0.492	19.687	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00015131	37144
3	37.50%	1595.32	1.595	23.930	232.397	0.421	22.998	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00018675	37144
4	50%	2109.94	2.110	31.649	307.364	0.372	26.033	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00021820	37144
5	62.50%	2701.75	2.702	40.526	393.576	0.341	28.422	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00025592	37144
6	75%	3267.84	3.268	49.018	476.039	0.300	32.255	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00027275	37144
7	87.50%	3833.92	3.834	57.509	558.503	0.278	34.855	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00029613	37144
8	100%	4091.23	4.091	61.368	595.986	0.294	32.944	0.9	0.95	0.0207293	0.83	0.00033434	37144

## LAMPIRAN 2

### ❖ Data Perubahan Properties Biodiesel Terhadap Temperatur

Temperatur	Viskositas (Cst)	Densitas (kg/m³)	Tegangan Permukaan (dyne/cm)
27 °C	4.2	866	71.4
40 °C	4	854	65.8
55 °C	3.7	845	64.9
70 °C	3.5	833	61.8

### ❖ Data Kondisi dan Presentase Perubahan Terbaik dari Hasil Unjuk Kerja Mesin Diesel

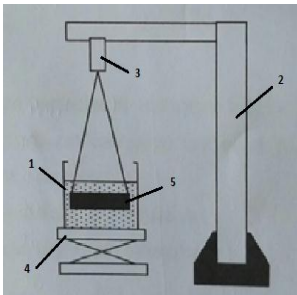
Parameter uji	Pembebanan	Temperatur Biodiesel (°C)				solar
		27	40	55	70	
Daya (kW)	100%	4.014	4.040	4.040	4.091	4.143
Torsi (N.m)	100%	60.211	60.596	60.596	61.368	62.140
Bmep (Kpa)	100%	584.741	588.490	588.490	595.986	603.483
Sfc (kg/kW.jam)	87.5%	0.317	0.293	0.270	0.278	0.226
Efisiensi Termal (%)	87.5%	30.6	33.1	35.9	34.9	36.2

Parameter Uji	Presentase
	Perubahan (%)
Daya	1.92
Torsi	1.92
Bmep	1.92
Sfc	-14.79
Efisiensi Termal	17.36

Keterangan :

	Nilai standar
	Nilai terbaik
	Temperatur ideal

### LAMPIRAN 3



Keterangan :

1. Gelas Uji
2. Batang besi
3. *spring balance* skala Newton
4. Laboratory (dongkrak)
5. Cincin Aluminium

Gambar Skema Pengujian Teg. Permukaan

#### Tahapan Pengambilan Tegangan Permukaan

1. Susun peralatan uji sesuai skema pengujian
2. Panaskan cairan uji sesuai temperatur pengujian dan masukan cairan tersebut ke dalam gelas uji
3. Naikkan dongkrak dengan memutar skrup pengatur ketinggian meja dongkrak dan pastikan cincin aluminium terendam oleh cairan uji.
4. Catat nilai gaya awal ( $F_0$ ) pada spring balance.
5. Turunkan ketinggian dongkrak dengan memutar skrup pengatur sehingga cincin aluminium akan tertarik oleh cairan.
6. Ketika cincin aluminium berada pada titik kritis (kondisi hampir terlepas dari cairan) catat nilai tegangan akhir ( $F_1$ ).
7. Hitung nilai tegangan Permukaan dari cairan uji dengan cara mengolah data hasil pengujian yang diperoleh.

Persamaan untuk memperoleh nilai tegangan permukaan :

$$\alpha = \frac{\Delta F}{2\ell} = \frac{\Delta F}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

F : gaya (N)

$\ell$  : panjang permukaan (m)

$\alpha$  : tegangan permukaan (N/m)

d : diameter cincin (m)

## MY BIOGRAPHY



**Dimas Priyanto** was born in Brebes, Central Java Province at October 04<sup>th</sup>, 1991. He went to vocational high school at [SMKN 01 Bulakamba](#) in 2010, he took Automotive's major in his school. And then he continued his study at [Diploma 3 program, Departement of Mechanical Engineering](#), (D3 Teknik Mesin) at [Gadjah Mada University](#) in Yogyakarta and finished September 2013. When he studied in Diploma, he interested to

manufacture major. Because of at Diploma program, manufacture's major was better than automotive and he got support from his father too. He learned about fabrication, production system, disassembly used to CAD, CAM, and Inventor Programs. So that's why he had much about manufacture. After he completed his diploma, he got a job at [PT Honda Prospect Motor](#) in Karawang, West Java as production staff in the assembly department in December 2013. During the work on the Honda he contributed to the preparation of new products Honda New Jazz.

In september 2014, he studied to continue his education in [Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology – Sepuluh Nopember institue of Technology](#) Surabaya. In this departement, he took a concentration in Energy Conversion. He learned about Biodiesel fuel. And He took last project about Experimental Study of Temperature Effect of Biodiesel Fuel. If you want to have a contact and have discussion please send your email to [dimazarmezy@gmail.com](mailto:dimazarmezy@gmail.com).